



TESIS DOCTORAL

INTERPRETACIÓN DE PRUEBAS Y USO DEL CONOCIMIENTO. DISEÑO DE EXPERIMENTOS CON ENZIMAS EN SECUNDARIA

Asdo.

M^a Peregrina Varela Caamiña

DEPARTAMENTO DE DIDÁCTICAS APLICADAS
DOCTORADO EN EDUCACIÓN
FACULTAD DE CIENCIAS DA EDUCACIÓN

SANTIAGO DE COMPOSTELA
2017



AUTORIZACIÓN DO DIRECTOR / TUTOR DA TESE

Dr. Joaquín Díaz de Bustamante

Dra. Paloma Blanco Anaya

Profesora do Departamento de Didácticas Aplicadas

Como Codirectores da Tese de Doutoramento titulada

«Interpretación de pruebas y uso del conocimiento. Diseño de experimentos con enzimas en secundaria»

Presentada por Dna. M^a Peregrina Varela Caamiña

Alumna do Programa de Doutoramento Educación

Autorizan a presentación da tese indicada, considerando que reúne os requisitos esixidos no artigo 34 do regulamento de Estudos de Doutoramento, e que como Director da mesma non incurre nas causas de abstención establecidas na lei 30/1992.

Asdo. Joaquín Díaz de Bustamante

Asdo. Paloma Blanco Anaya





A mis padres

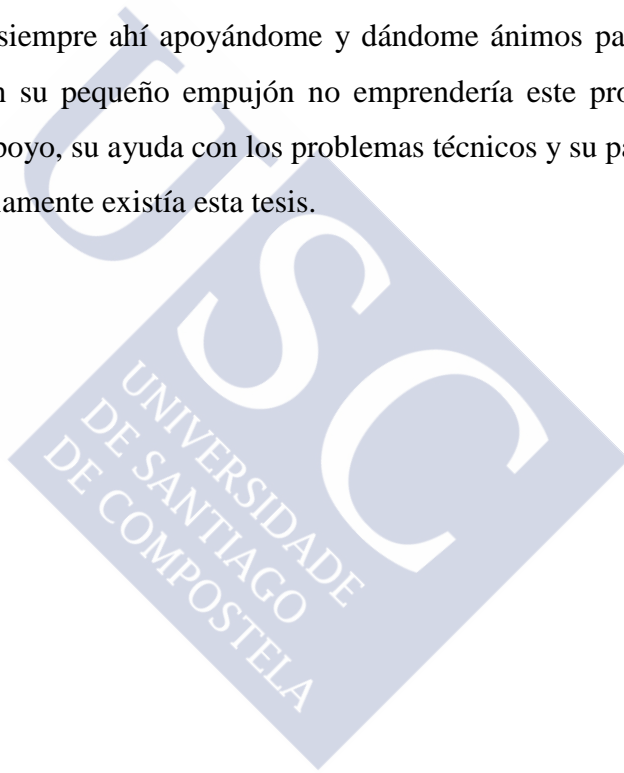


AGRADECIMIENTOS

A mis directores, Joaquín Díaz de Bustamante y Paloma Blanco Anaya. A Joaquín por estar conmigo durante este proyecto, aportar su sabiduría, sus consejos y sus ánimos. A Paloma por su contribución y apoyo, su empatía y esas pequeñas discusiones que nos llevaban a realizar un análisis más completo. Gracias por ayudarme a finalizar este trabajo.

A la profesora que me abrió su aula para realizar las pruebas y a sus alumnos que se prestaron a realizar las actividades siendo los actores principales del estudio.

A mi familia, por estar siempre ahí apoyándome y dándome ánimos para no decaer. A mi amiga Tery, por que sin su pequeño empujón no emprendería este proyecto. Finalmente, agradezco a Andrés su apoyo, su ayuda con los problemas técnicos y su paciencia durante los largos días en los que solamente existía esta tesis.





Índice

RESUMEN.....	13
I FUNDAMENTACIÓN.....	17
Capítulo 1. INTRODUCCIÓN	19
1.1. Objetivos, preguntas de investigación y relevancia del estudio	21
1.2. Organización de la tesis	23
Capítulo 2. MARCO TEÓRICO	25
2.1. Argumentación	25
2.2. Indagación.....	34
2.3. Modelización	44
Capítulo 3. METODOLOGÍA.....	55
3.1. Investigación cualitativa: Estudio de caso.....	55
3.2. Análisis del discurso	57
3.3. Contexto, participantes y toma de datos	58
3.4. Consideraciones éticas.....	59
3.5. Análisis de datos	60
3.5.1. Análisis de la argumentación.....	62
3.5.2. Análisis de indagación.....	65
3.5.3. Análisis de la modelización.....	69
Capítulo 4. DISEÑO DE LA ACTIVIDAD.....	75
4.1. Pequeña historia de los enzimas y su enseñanza	75
4.2. Dificultades en el aprendizaje de la interacción enzima-sustrato	78
4.3. Situación de los enzimas en el currículo educativo	79
4.4. Diseño de la actividad.....	81
4.5. Descripción de la actividad.....	82
4.6. referencial de resolución de los problemas.....	86

4.6.1. Referencial para la Act 1 “Acción catalítica de los enzimas”	86
4.6.2. Referencial de las Act.2 “¿Por qué paró la reacción con el hígado?” y Act.3 “¿Por qué paró la reacción con la patata?”	88
4.7. Capacidades requeridas por la actividad	92
II RESULTADOS.....	97
Capítulo 5. RESULTADOS.....	99
5.1. Resultados del grupo A	102
5.1.1. El proceso de argumentación	102
5.1.2. El proceso de indagación	113
5.1.3. El proceso de modelización	120
5.1.4. Discusión y conclusiones parciales del grupo A.....	128
5.2. Resultados del grupo B	132
5.2.1. El proceso de argumentación	132
5.2.2. El proceso de indagación	142
5.2.3. El proceso de modelización	154
5.2.4. Discusión y conclusiones parciales del grupo B.....	161
5.3. Resultados del grupo C	167
5.3.1. El proceso de argumentación	167
5.3.2. El proceso de indagación	182
5.3.3. El proceso de modelización	188
5.3.4. Discusión y conclusiones parciales del grupo C.....	197
5.4. Resultados del grupo D	203
5.4.1. El proceso de argumentación	203
5.4.2. El proceso de indagación	217
5.4.3. El proceso de modelización	227
5.4.4. Discusión y conclusiones parciales del grupo D.....	232

5.5. Resultados del grupo E	237
5.5.1. El proceso de argumentación	237
5.5.2. El proceso de indagación	247
5.5.3. El proceso de modelización	253
5.5.4. Discusión y conclusiones parciales del grupo E.....	261
III CONCLUSIONES E IMPLICACIONES EDUCATIVAS.....	265
Capítulo 6. CONCLUSIONES E IMPLICACIONES EDUCATIVAS	267
6.1. Conclusiones.....	269
6.2. Implicaciones educativas	278
6.3. Consideraciones finales	280
6.3.1. Limitaciones de la tesis.....	280
6.3.2. Futuras líneas de investigación	281
IV REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	283
Capítulo 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	285
Anexo I	307
Anexo II.....	311
Anexo III.....	313
Anexo IV	CD
Anexo V.....	CD



RESUMEN

En esta tesis se analiza cómo los estudiantes interpretan pruebas empíricas y usan su conocimiento mientras realizan experimentos con enzimas. Para ello, hemos estudiado las competencias científicas de argumentación, indagación y modelización de los estudiantes durante la resolución del problema, dando respuesta a los siguientes objetivos de investigación: 1) Caracterizar la calidad del proceso de argumentación que siguen los estudiantes mientras resuelven el problema planteado, 2) Caracterizar la calidad del proceso de indagación que siguen los estudiantes mientras resuelven el problema planteado y, 3) Caracterizar el proceso de modelización que siguen los estudiantes para generar una explicación al problema planteado.

El estudio se lleva a cabo en aulas de 4º de ESO de un instituto de Galicia, en las que el alumnado realiza actividades prácticas de biología, en concreto sobre actividad enzimática, en dos sesiones, en las que el alumnado trabaja en pequeño grupo.

Para la toma de datos las sesiones fueron grabadas en audio y vídeo, que posteriormente fueron transcritas, utilizando pseudónimos para respetar el anonimato de los estudiantes, de la profesora y del centro. Para el análisis de los datos se utilizan diferentes métodos según el objetivo: a) el proceso de argumentación, mediante esquemas de argumentación de Toulmin (1958) y líneas argumentativas, basadas en las líneas de razonamiento propuestas por Kelly, Regev y Prothero (2007); b) el proceso de indagación, empleando el esquema de las etapas de investigación según el proyecto APU (1984), y c) el proceso de modelización, siguiendo el diagrama de modelo de modelización (MMD) elaborado por Justi y Gilbert (2002).

Los resultados indican:

- a) En el proceso de argumentación se ha detectado que la mayoría de las justificaciones incluyen pruebas apropiadas, lo que implica que son capaces de utilizar el conocimiento necesario para interpretar los datos de forma correcta y llegar a una conclusión. Asimismo, comprobamos que hay un predominio del uso de pruebas de tipo teórico frente al uso de pruebas de tipo empírico. En general, los estudiantes se conforman con lo expuesto por otro estudiante sin mostrar la necesidad de reforzar que sus argumentos son los adecuados para dar respuesta al problema. De modo que la

argumentación, como proceso de persuasión, no juega un papel esencial en la resolución del problema.

Generalmente, cada grupo sigue dos líneas argumentativas para dar respuesta al problema, que corresponden a las dos hipótesis rivales: se acabó el enzima o se acabó el sustrato.

- b) En el proceso de indagación, observamos que la mayoría de los grupos estudiados realizan el proceso de indagación completo, esto es, transcurre por todas las etapas de investigación durante la realización de la actividad. Detectamos que una gran parte de las hipótesis formuladas son pertinentes para resolver el problema. Asimismo, la mayoría de los grupos son capaces de planificar experimentos, unos más sofisticados que otros, que les permiten contrastar sus hipótesis, adquiriendo una alta calidad en el proceso de indagación.
- c) En el proceso de modelización hemos encontrado que son capaces de elaborar modelos para explicar la interacción enzima-sustrato. A lo largo de este proceso, se aprecia una modificación en el conocimiento de la interacción enzima-sustrato, porque al elaborar sus modelos, comprueban experimentalmente si con ellos pueden explicar la interacción enzima-sustrato, afianzando, modificando o rechazando el modelo.

Consideramos que la participación de los estudiantes en actividades que promuevan estas destrezas contribuye a construir su propio conocimiento científico. En el proceso de construcción y uso de modelos, la argumentación sirve como herramienta para evaluar los modelos, generando diferentes explicaciones más o menos complejas. Durante el proceso de indagación deben acordar, mediante la argumentación, si sus diseños experimentales permiten contrastar las hipótesis que formulan y así, determinar cuál de ellos permite comprobar la validez de su modelo.

Palabras clave: Argumentación, indagación, modelización, interacción enzima-sustrato, trabajo en grupo.

RESUMO

Nesta tese analízase como os estudantes interpretan probas empíricas e usan o seu coñecemento mentres realizan experimentos con enzimas. Para iso, estudamos as competencias científicas de argumentación, indagación e modelización dos estudantes durante a resolución do problema, dando resposta aos seguintes obxectivos de investigación: 1) Caracterizar a calidade do proceso de argumentación que seguen os estudantes mentras resolven o problema formulado, 2) Caracterizar a calidade do proceso de indagación que seguen os estudantes mentras resolven o problema formulado e, 3) Caracterizar o proceso de modelización que seguen os estudantes para xerar unha explicación ao problema formulado.

O estudo lévase a cabo en aulas de 4º de ESO dun instituto de Galicia nas que o alumnado realiza unha actividade práctica de bioloxía, en concreto sobre a actividade encimática en dúas sesións, nas que o alumnado traballa en pequeno grupo.

Para a toma de datos as sesións foron gravadas en audio e video, que posteriormente foron transcritas, empregando pseudónimos para repectar o anonimato dos estudantes, da profesora e do centro. Para a análise dos datos utilízanse diferentes métodos segundo o obxectivo a analiza: a) o proceso de argumentación, mediante esquemas de argumentación de Toulmin (1958) e liñas argumentativas, baseadas nas liñas de razoamento propostas por Kelly, Regev e Prothero (2007); b) o proceso de indagación, empregando o esquema das etapas de investigación segundo o proxecto APU (1984), e c) o proceso de modelización, seguindo o diagrama de modelo de modelización (MMD) elaborado por Justi e Gilbert (2002).

Os resultados indican:

- a) No proceso de argumentación detectáronse que a maioría das xustificacións inclúen probas apropiadas, o que implica que son capaces de utilizar o coñecemento necesario para interpretar os datos de forma correcta e chegar a unha conclusión. Así mesmo, comprobamos que hai un predominio do uso de probas de tipo teórico fronte ao uso de probas de tipo empírico. En xeral, os estudantes confórmanse co exposto por outro estudante sen amosar a necesidade de reforzar que os seus argumentos son os axeitados para dar resposta ao problema. De modo que a argumentación, como proceso de persuasión, non xoga un papel esencial na resolución do problema.

Xeralmente, cada grupo segue dúas liñas de razoamento para dar resposta ao problema, que corresponden ás dúas hipóteses rivais: acabouse o encima ou acabouse o substrato.

- b) No proceso de indagación, observamos que a maioría dos grupos estudados realizan o proceso de indagación completo, isto é, transcorre por todas as etapas de investigación durante a realización da actividade. Utilizan diferentes estratexias para dar resposta ao problema. Detectamos que unha grande parte das hipóteses formuladas son pertinentes para resolver o problema. Así mesmo, a maioría dos grupos son capaces de planificar experimentos, uns máis satisfechos que outros, que lles permiten contrastar as súas hipóteses, adquirindo unha alta calidade no proceso de indagación.
- c) No proceso de modelización, encontramos que son capaces de elaborar modelos para explicar a interacción enzima-sustrato. Ao longo deste proceso, apreciase unha modificación no coñecemento da interacción enzima-sustrato, porque elaboran os seus modelos, e comprobán experimentalmente se con eles poden explicar a interacción enzima-sustrato, afianzando, modificando ou rexeitando o modelo.

Consideramos que a participación dos estudantes en actividades que promovan estas destrezas contribúen a construír o seu propio coñecemento científico. No proceso de construción e uso de modelos, a argumentación serve como ferramenta para avaliar os modelos, xerando diferentes explicacións máis ou menos complexas. Durante o proceso de indagación deben acordar, mediante a argumentación, se os seus deseños experimentais permiten contrastar as hipóteses que formulan e así, determinar cal deles permite comprobar a validez do seu modelo.

Palabras chave: Argumentación, indagación, modelización, interacción enzima-sustrato, traballo en grupo.

I FUNDAMENTACIÓN





Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

En esta tesis se analiza la capacidad de los estudiantes para interpretar las pruebas que obtienen de la experimentación con enzimas y conocer si ello contribuye al establecimiento del modelo escolar de la función enzimática.

La experimentación en el laboratorio fomenta el pensamiento científico de los estudiantes. Para lograr este propósito, debemos dar la oportunidad a los estudiantes de que descubran por sí mismos cuál es la mejor manera de resolver el problema (Caamaño, 2005), es decir, darles autonomía para que sean ellos quienes diseñen sus propios experimentos. Por este motivo, desde hace algunos años se intenta que el aprendizaje no sea de forma repetitiva ni memorística, sino que se pretende una enseñanza basada en la adquisición de competencias que deben ser desarrolladas por los estudiantes durante su etapa de enseñanza obligatoria.

En nuestro estudio, la competencia en que nos centramos es la competencia científica, considerada por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE, 2006) como aquella competencia que *“hace referencia a los conocimientos científicos de un individuo y al uso de ese conocimiento para identificar problemas, adquirir nuevos conocimientos, explicar fenómenos científicos y extraer conclusiones basadas en pruebas sobre cuestiones relacionadas con la ciencia”* (p. 13).

Las autoras Cañas, Martín-Díaz y Niedo (2007) indican que esta competencia engloba dos grandes habilidades: interpretar el mundo y desenvolverse con autonomía e iniciativa personal en distintos hábitos de la vida. Para ello deben aplicar los conocimientos científicos y tomar decisiones fundamentadas en esos conocimientos.

Considerando esto, en esta tesis se analiza la competencia científica de estudiantes de 4º de Educación Secundaria Obligatoria (ESO). Para ello, se aborda el estudio de las destrezas implicadas que deben poseer los estudiantes que, según la OCDE (2006) son: 1) el uso de

pruebas, relacionada con la argumentación, 2) identificación de cuestiones científicas, conectada con la indagación y 3) explicación de fenómenos de forma científica, vinculada a la modelización.

Para analizar estas destrezas, proponemos un problema práctico relacionado con las reacciones químicas catalizadas por enzimas, en el que los estudiantes deben determinar las causas por las que se detiene una reacción enzimática. Para lo cual deben interpretar pruebas (argumentación) y usar su conocimiento (uso de modelos) sobre la actividad enzimática para diseñar experimentos (indagación) que les lleven a explicar de forma científica los resultados obtenidos cuando los realicen.

Es por ello que entendemos que las tres destrezas incluidas en la competencia científica se encuentran altamente implicadas en nuestro estudio, siguiendo las ideas de Jiménez Aleixandre, Bravo y Puig (2009). No obstante, para conocer las capacidades de los estudiantes, para cada una de las destrezas, éstas se analizan por separado. Esta relación tiene lugar ya que el proceso de argumentación tendrá relevancia cuando tratan de establecer cuáles son las hipótesis acerca de la detención de las reacciones. Asimismo, en esas hipótesis ya subyace el modelo que poseen sobre la relación enzima-sustrato. En cuanto al proceso de indagación es necesario para saber qué hipótesis es correcta y obtener pruebas con las que justificar sus conclusiones. En definitiva, en el proceso de indagación planifican pruebas experimentales para evaluar si con esos experimentos el modelo construido les permite dar respuesta al problema (Passmore, Stewart y Cartier, 2009).

Respecto a la argumentación, como dice Lemke (1997), los estudiantes deben hablar ciencias, por tanto, deben organizar sus ideas, exponerlas sustentadas en pruebas y llegar a un acuerdo. Al exteriorizar sus ideas y hacer públicos sus conocimientos éstos son evaluados, cambiados y mejorados (Kuhn, 1992 y 1993; Henao y Stipcich, 2008; Jiménez Aleixandre, 2008) en un proceso en el que están aprendiendo a utilizar el lenguaje de las ciencias. Por ello, nos centramos en el análisis de los argumentos construidos por el grupo e implicados en la resolución del problema (Toulmin, 1958), y en el análisis del razonamiento científico utilizado por los estudiantes (Kelly, Regev y Prothero, 2007) en el que partiendo de los datos deben llegar a conclusiones, usando las pruebas disponibles para enlazar los datos con la conclusión.

En cuanto a la indagación, ésta contribuye al aprendizaje de las ciencias porque permite desarrollar prácticas científicas, que requieren de los estudiantes el conocimiento teórico para

su resolución (Crujeiras Pérez, 2014; Crujeiras Pérez y Jiménez Aleixandre, 2012 y 2015). Además, las actividades de laboratorio deben ser diseñadas para fomentar el pensamiento científico y una forma de promoverlo es planteando actividades que implican la resolución de problemas cuya solución no sea inmediata, dejando que sean los estudiantes los que piensen la manera de resolverlo, en lugar de seguir unas instrucciones. Así, serán ellos los que diseñen el procedimiento para su resolución. Caamaño (2005) indica que estos problemas deben fomentar el diálogo y, además, de estar enmarcados en la construcción de modelos.

En el caso de la modelización, entendemos, al igual que otros autores como Nersessian (2002), Halloun (2006) o Justi (2006), que el proceso de construcción de modelos debe formar parte de la enseñanza de las ciencias y se debe practicar en el aula, favoreciendo un aprendizaje más participativo. La construcción de modelos en ciencias ayuda a comprender fenómenos científicos (Caamaño, 2011a) y si esta construcción se realiza en grupo, la discusión enriquece los respectivos modelos mentales y contribuye a su revisión. Como indican Schwarz et al. (2009) aprender a pensar científicamente y trabajar con modelos científicos lleva a desarrollar, evaluar y revisar los modelos, las explicaciones y las teorías, al mismo tiempo que permite su aplicación en nuevas situaciones (Windschitl, Thompson y Braaten, 2008).

1.1. OBJETIVOS, PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN Y RELEVANCIA DEL ESTUDIO

El principal propósito de esta tesis es conocer cómo los estudiantes interpretan pruebas empíricas y el uso que hacen de su conocimiento al resolver problemas que implican el diseño de experimentos. Para ello hemos estudiado los procesos de argumentación, indagación y modelización llevados a cabo por los estudiantes durante la resolución del problema relacionado con la actividad enzimática en 4º curso de ESO.

Este objetivo principal está desglosado en tres objetivos con las consiguientes preguntas de investigación:

Objetivo 1: *Caracterizar la calidad del proceso de argumentación que siguen los estudiantes mientras resuelven el problema planteado.*

El cual se concreta con las dos preguntas de investigación siguientes:

1ª pregunta de investigación: *¿Cuál es la calidad de los argumentos que emplean los estudiantes en la resolución del problema?*

2^a pregunta de investigación: *¿En qué medida las líneas argumentativas les llevan a conclusiones acordes con el enunciado del problema?*

Objetivo 2: *Caracterizar la calidad del proceso de indagación que siguen los estudiantes mientras resuelven el problema planteado*

El cual se concreta con las dos preguntas de investigación siguientes:

3^a pregunta de investigación: *¿En qué medida las hipótesis que formulan son pertinentes para resolver el problema?*

4^a pregunta de investigación: *¿En qué medida los estudiantes son capaces de diseñar un experimento para contrastar sus hipótesis?*

Objetivo 3: *Caracterizar el proceso de modelización que siguen los estudiantes para generar una explicación al problema planteado*

El cual se concreta con las dos preguntas de investigación siguientes:

5^a pregunta de investigación: *¿Cómo construyen, evalúan y modifican sus modelos?*

6^a pregunta de investigación: *¿En qué medida los modelos elaborados por los estudiantes permiten explicar la detención de las reacciones enzimáticas?*

Consideramos que la relevancia de este estudio, en el ámbito de la investigación en didáctica de las ciencias, viene determinada por los siguientes aspectos:

a) Ampliar el conocimiento sobre cómo tienen lugar los procesos de argumentación, indagación y modelización en el aula.

- Analizando cómo los estudiantes construyen argumentos, partiendo de datos empíricos y teóricos que ellos mismos obtienen, hasta llegar a sus conclusiones, lo cual les lleva a seguir un razonamiento.
- Examinando el proceso de indagación que realizan para contrastar sus hipótesis.
- Analizando cómo construyen, usan y revisan (mediante la experimentación) los modelos para dar una explicación al fenómeno objeto de estudio.

b) Emplear como conocimiento disciplinar la interacción enzima-sustrato, acerca del cual se ha encontrado poca literatura relacionada con el tema, por lo que se contribuye a ampliar las dificultades que los estudiantes presentan al abordar estos contenidos. Este tema no está

incluido en el currículo de 4º ESO, sin embargo consideramos que la actividad propuesta contribuye a los objetivos indicados en el Decreto 133/2007, de 5 de julio, por el que se regulan las enseñanzas de la educación secundaria obligatoria en la Comunidad Autónoma de Galicia (Xunta de Galicia, 2007), vigente en el momento de la toma de datos. No obstante, lo que nos interesa es emplear este conocimiento como contexto para analizar las destrezas científicas de los estudiantes, tal y como se detalla en el capítulo 4.

1.2. ORGANIZACIÓN DE LA TESIS

Esta memoria de tesis se estructura tres partes: la fundamentación teórica, que incluye los capítulos del 1 al 4; los resultados, que comprende el capítulo 5, y las conclusiones, que conforman un único capítulo final.

En este primer capítulo, *Introducción*, se detallan los objetivos y preguntas de investigación y la relevancia del estudio.

En el segundo capítulo, *Marco teórico*, se discuten los tres cuerpos de conocimiento necesarios para este estudio: a) la argumentación, b) la indagación, y c) la modelización.

En el tercero, *Metodología*, se describe el tipo de investigación llevado a cabo, en concreto, cualitativa y estudio de caso. A continuación, se describe el contexto, los participantes y la toma de datos, seguidamente se indican las consideraciones éticas para la protección de los participantes y, finalmente, se indican los procedimientos para el análisis de los datos, con los que dar respuesta a las preguntas de investigación.

En el cuarto, *Diseño de las actividades*, se relata un pequeño resumen de la historia de los enzimas en la enseñanza, analizando la situación de los enzimas en el currículo desde los años 60. A continuación, se señalan los principios del diseño considerados para la elaboración de la actividad y después la descripción de la actividad, el proceso referencial de resolución de la actividad y, finalmente, las capacidades cognitivas requeridas por la actividad.

En el quinto, *Resultados*, se incluyen los resultados obtenidos tras el análisis de los datos de cada grupo considerando las preguntas de investigación. Esto es, a) el proceso de argumentación, desde el uso de pruebas a la elaboración de argumentos, así como de las líneas argumentativas que les llevan a establecer conclusiones; b) el proceso de indagación, llevado a cabo por los estudiantes para diseñar los experimentos y contrastar sus hipótesis, y c) el

proceso de modelización, en el que los estudiantes construyen modelos y los usan para dar una explicación al problema.

Por último, en el sexto, *Conclusiones e implicaciones educativas*, se exponen y discuten las conclusiones generales que derivan de este estudio junto con las implicaciones, tanto para la investigación como para la práctica educativas. Finalmente, el último apartado de la tesis se ha destinado a comentar las limitaciones del estudio y las futuras líneas de investigación que nacen del presente estudio.



Capítulo 2. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se presenta el marco teórico que fundamenta este estudio, el cual procede de tres campos de conocimiento en didáctica de las ciencias, por lo cual dividimos este capítulo en tres apartados. En el primer apartado abordamos la dimensión de la argumentación y uso de pruebas, siguiendo a autores como Toulmin (1958), Hogan y Maglienti (2001), Schweizer y Kelly (2005) y Jiménez Aleixandre (2010), y su importancia en la enseñanza de las ciencias. En el segundo apartado tratamos la dimensión de la indagación en el laboratorio en la que los estudiantes participan en prácticas científicas que promuevan su comprensión del mundo científico y el trabajo de los investigadores, teniendo en cuenta las aportaciones de autores como Chinn y Malhotra (2002), Caamaño (2005), Tenreiro-Vieira y Marques Vieira (2006) y Bell, Maeng y Peters (2010). En el tercer apartado desarrollamos la explicación de fenómenos de forma científica atendiendo a un modelo teórico (Izquierdo y Adúriz-Bravo, 2005), así como la modelización y uso de modelos, siguiendo a autores como Grosslight, Unger, Jay y Smith (1991), Justi y Gilbert (2002) y Schwarz et al. (2009).

2.1. ARGUMENTACIÓN

El lenguaje en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias tiene un doble papel, por una parte, es un objeto del proceso de aprendizaje de las ciencias, en donde los estudiantes deben aprender el lenguaje científico; y por otro, es un instrumento de comunicación (Jiménez Aleixandre, 2003), en donde ese lenguaje debe ser compartido por los integrantes del proceso para promover (por los docentes) y adquirir (por los estudiantes) el conocimiento científico escolar (Villani y do Nascimento, 2003). De ahí la importancia de que los estudiantes aprendan cómo participar en el discurso científico, además de aprender simplemente conceptos científicos (Bricker y Bell, 2008).

La argumentación es una parte importante del aprendizaje de las ciencias porque cuando los estudiantes exteriorizan sus ideas y hacen públicos sus conocimientos, éstos pueden ser evaluados, cambiados y mejorados (Kuhn, 1993; Henao y Stipcich, 2008).

Una parte de nuestro estudio contempla el análisis de la argumentación de estudiantes mientras resuelven un problema en pequeño grupo, el cual implica que elaboren hipótesis, justificaciones y conclusiones, para lo cual han de utilizar la comunicación y el lenguaje en el laboratorio de ciencias. Por ello, son relevantes las definiciones que utilizan diferentes investigadores sobre el concepto de argumentación en el campo de la didáctica de las ciencias. Billig (1987) considera que la argumentación es una articulación de intervenciones para convencer a otros sobre un punto de vista determinado. Driver, Newton y Osborne (2000) especifican más, denominándola *argumentación didáctica* y la consideran un proceso a través del cual se da un motivo a favor o en contra de una propuesta. Por su parte, Revel Chion et al. (2005) encaminan su definición hacia *argumentación científica escolar* y la califican de *procedimiento*, comparable a las habilidades prácticas y a las capacidades cognitivas y comunicativas fundamentales para producir, evaluar y aplicar ciencia. Estos mismos autores (Revel Chion et al., 2005) reconocen cuatro componentes de la argumentación científica: *componente teórica*, se requiere un *modelo teórico* (en el sentido de Giere, 1999) de referencia al proceso explicativo; *componente lógica*: con una estructura sintáctica rica y compleja, utilizada en diversos tipos de razonamientos; *componente retórica*: intentar persuadir al interlocutor y la *componente pragmática*: el contexto en el que se adecua el argumento y toma sentido completo. Antón (2007) define argumentación como “*un acto de habla en el que de unos enunciados inferimos otro. A los primeros les denominamos premisas y al último conclusión*” (p. 4), es decir, como un proceso deductivo que nos permite llegar a una conclusión. Caamaño (2010) hace una división de la argumentación en dos tipos, la argumentación para la educación científica y la argumentación para la educación ciudadana. De estos dos tipos, la que se relaciona con nuestro trabajo es la *argumentación para la educación científica*, que está considerada por este autor como la “*pieza fundamental del proceso de comprensión de los conceptos y teorías y de la naturaleza de la ciencia*” (p. 6).

De acuerdo con la Real Academia Española (2015) la definición de argumentación es la “*acción de argumentar*”, es decir, aducir, alegar, dar argumentos, que es el “*razonamiento para probar o demostrar una proposición, o para convencer de lo que se afirma o se niega*”.

Existen más definiciones de este concepto, pero la definición que adoptamos de argumentación para este trabajo es la de Jiménez Aleixandre y Díaz de Bustamante (2003), que la definen como *“la capacidad de relacionar datos y conclusiones, de evaluar enunciados teóricos a la luz de los datos empíricos o procedentes de otras fuentes”* (p. 361). Ya que, en la actividad propuesta, los estudiantes exponen sus ideas, argumentan entre ellos para poder llevar a cabo la actividad, utilizando los datos empíricos obtenidos en una primera tarea.

En el análisis realizado por Archila (2012) sobre varios estudios de argumentación llega a la conclusión de que, en el campo de la enseñanza y del aprendizaje de las ciencias, la argumentación favorece la construcción de aprendizajes relevantes y más cercanos a la realidad próxima de los estudiantes. Como dicen Buitrago, Mejía y Hernández (2013) cuando el estudiante argumenta le damos la posibilidad de encontrar analogías o semejanzas entre el modelo teórico, que es abstracto, y la recreación teórica del fenómeno estudiado. Asimismo, la argumentación contribuye a la comprensión de los conceptos preexistentes porque les permite acceder a nuevas ideas y ampliar conocimientos existentes, al mismo tiempo que modifican conceptos erróneos (Ibraim, Mendonça y Justi, 2013). Por eso, es importante proporcionar en el aula de ciencias contextos argumentativos que permitan involucrar a los estudiantes en estrategias heurísticas para aprender a razonar (Kelly y Takao, 2002), al favorecer que los estudiantes comprueben sus propias visiones del entorno. Como dice Sutton (2003) *“hablar, «observar» y escribir es tan importante como manipular los aparatos. De alguna manera, el lápiz del científico es más importante que otro equipamiento de laboratorio”* (p. 22). Coincidimos con Sutton porque pensamos que para que los estudiantes aprendan ciencias deben hablar ciencias como señala Lemke (1997) y no realizar actividades en las que simplemente sigan procedimientos pautados en las que no se necesita la comunicación.

En este sentido, Jiménez Aleixandre y Pereiro (2002) indican que en los contextos argumentativos los estudiantes deben: a) generar proposiciones, soluciones y cuestiones en la resolución de problemas; b) escoger entre dos o más explicaciones o teorías sobre un fenómeno; c) apoyar sus conclusiones en datos y justificaciones; y d) hablar y escribir sobre ciencia mientras realizan su investigación. Para eso las actividades, como señala Duschl (1995), deben ser diseñadas para permitir que los estudiantes produzcan ideas y explicaciones, tengan conversaciones sobre la comprensión de esas ideas, y las evalúen. El trabajo en el aula debe centrarse en la resolución de problemas como las indagaciones en las que la solución no

se conoce *a priori* (Jiménez Aleixandre, 1998 y 2003; Ceberio, Almudi y Zubimendi, 2014), en donde estén involucrados el uso de los datos y la recopilación de pruebas. Los datos en los que se sustentan esas pruebas pueden ser de dos tipos (Hug y McNeill, 2008): los *datos de primera mano*, obtenidos de forma empírica por los estudiantes y los *datos segunda mano*, aportados de otras fuentes o recogidos por otros individuos. Con relación a nuestra propuesta didáctica, los estudiantes usarán ambos tipos de datos: los de primera mano los obtienen empíricamente para, en la segunda parte de la actividad, emplearlos como pruebas y, los de segunda mano son los aportados en la hoja de ayuda. De forma que se promueven el uso de pruebas con las que el estudiante debe justificar las explicaciones que da, como propone Jiménez Aleixandre (2010).

Un recurso para involucrar a los estudiantes en la argumentación son las comunidades de aprendizaje, donde los estudiantes puedan investigar de forma colaborativa y compartir conocimientos (Brown, 1992). Así, favoreciendo estos ambientes, se fomenta la participación de los estudiantes en su aprendizaje en lugar de ser observadores del mismo (Henao, 2010). Coincidimos con Jiménez Aleixandre (2010) en que la argumentación es una evaluación del conocimiento, por este motivo decidimos realizar la tarea en pequeño grupo con el fin de poder analizar cómo conectan los datos con sus conclusiones, a través de las justificaciones propuestas por los componentes del grupo, y cómo la persuasión es utilizada por los estudiantes, considerada por Berland y Reiser (2009) como un proceso social en el que se concilian las ideas de varios individuos para construir la explicación más sólida del fenómeno en estudio. Ya que cuando los estudiantes exteriorizan sus pensamientos en las actividades colaborativas y se apoyan entre ellos en la construcción de argumentos, interaccionan las dimensiones personal y social. Esta interacción promueve la reflexión, al mismo tiempo que la apropiación y desarrollo de conocimientos, creencias y valores (Erduran, Simon y Osborne, 2004). Al mismo tiempo, al trabajar en grupo, los estudiantes deben tener en cuenta los argumentos aportados por los otros integrantes, así, si lo consideran oportuno, pueden refutar esos argumentos o plantear contrargumentos, lo que permite fomentar el pensamiento crítico, haciendo públicos sus razonamientos (Jiménez Aleixandre y Puig, 2013). Este apoyo en la construcción de argumentos entre los diferentes componentes del grupo es denominado por Jiménez Aleixandre y Díaz de Bustamante (2003) como *co-construcción de argumentos*, lo cual tiene lugar en las actividades orales cuyo objetivo final es la elaboración de un informe de grupo, como ocurre en nuestra propuesta didáctica. Por su parte, Wells (2006) expone que

cuando se colabora en la resolución de problemas aprendemos unos de otros y unos con otros y, además, con esta colaboración se alcanzan mejores resultados de los que se alcanzarían independientemente. Siguiendo a Duschl (1995) *“cuando aumentan las oportunidades de conversación y argumentación, también se incrementa la habilidad de los alumnos de comprender los temas sometidos a investigación y los procedimientos de razonamiento”* (p. 12). Consideramos que estas comunidades de aprendizaje se consiguen trabajando en pequeño o gran grupo en el contexto de aula, en los que la implicación de los estudiantes en el proceso de argumentación contribuye a la construcción del conocimiento compartido (Candela, 1991).

No obstante, a los estudiantes les resulta difícil distinguir entre dar un argumento a favor o en contra y normalmente exponen lo que están observando sin justificar la causa de lo que están investigando. Por eso, se debe promocionar en el aula de ciencias la argumentación como parte de su aprendizaje. Así, como indican Xie y So (2012), al incluir la argumentación se consigue: a) profundizar la comprensión científica del conocimiento, desarrollar la comprensión de la naturaleza de la ciencia y desarrollar habilidades relacionadas con la argumentación; b) la formulación de preguntas abiertas con el objetivo de estimular la argumentación de los estudiantes, también indicado por otros autores como Osborne, Erduran y Simon (2004) o McNeill y Pimentel (2010), es decir, formular preguntas que no tengan una respuesta obvia o inmediata y, c) cambiar el patrón de discusión, dejar que sea el estudiante quien inicie la discusión, de esta manera se les da más oportunidades de expresar sus opiniones. En definitiva, si se promueven estas tres características en el aula de ciencias les damos a los estudiantes más oportunidades para utilizar la argumentación y para ser productores de conocimiento (Jiménez Aleixandre y Pereiro, 2002; Jiménez Aleixandre, 2008).

La argumentación como práctica epistémica (Driver, Newton y Osborne, 2000; Jiménez Aleixandre, Bugallo y Duschl, 2000; Kelly y Takao, 2002; Osborne, Erduran y Simon, 2004) no puede estar desconectada del aprendizaje de la ciencia (Jiménez Aleixandre, 2008) debe promover la adquisición de conocimiento científico escolar. Es más, la argumentación debe favorecer el entendimiento de la naturaleza de la ciencia y el desarrollo de capacidades para la realización de procedimientos científicos. Consideramos, igual que Sardá y Sanmartí (2000) que *“las ideas de la ciencia se aprenden y se construyen expresándolas, y que el conocimiento de las formas de hablar y de escribir en relación con ellas es una condición necesaria para su evolución”* (p. 405).

En nuestro trabajo, el análisis de la argumentación se realiza a partir del discurso natural de los componentes del grupo del cual se infieren los argumentos elaborados por el grupo y las líneas argumentativas que siguen los estudiantes para llegar a las conclusiones.

Los argumentos interpretados se representan a través del modelo de argumentación de Toulmin (Toulmin's Argument Pattern, TAP, figura 2.1). Según Toulmin (1958), los componentes principales del argumento son los datos, las justificaciones y las conclusiones, pero además de estos componentes existen otros auxiliares que completan el argumento.

Según lo indicado por Jiménez Aleixandre (2010), los *datos* son los resultados experimentales, los hechos o las observaciones que se utilizan para llegar a la *conclusión*, que es la parte del argumento que se quiere probar o refutar, y las *justificaciones* son el componente del argumento que relaciona la conclusión con los datos. Como indica esta autora cuando los datos se integran en la justificación se convierten en *pruebas* que sustentan la conclusión.

El *conocimiento básico*, en el marco de la enseñanza de las ciencias, es el componente del argumento que señala la conexión de los conceptos y modelos científicos; los *calificadores modales* indican el grado de certeza del argumento (Toulmin, 1958) y *condiciones de excepción o de refutación* nos revelarían las situaciones en las cuales la conclusión no sería válida (Kuhn, 2005).

El esquema del modelo de argumentación propuesto por Toulmin (1958) es ampliamente utilizado como marco de análisis en las investigaciones relacionadas con la argumentación de los estudiantes. El TAP tiene como principal limitación que no considera los niveles epistémicos, ni la posición de las conclusiones incluidas en argumentos más amplios (Kelly y Takao, 2002), ya que el esquema se limita a argumentos relativamente cortos y no conduce a juicios sobre si es o no correcto porque se presenta de forma descontextualizada (Drive, Newton y Osborne, 2000). Lo hemos elegido para nuestro estudio porque presenta como principal ventaja que se puede visualizar de forma rápida la estructura del argumento y las justificaciones que se aportan, así como comprobar si dicho argumento está completo o le falta alguno de los componentes. Nosotros le damos énfasis a las características (estructura) del argumento, es decir, a las relaciones funcionales y específicas de los componentes del argumento que relacionan los datos con la conclusión, porque permite destacar las relaciones lógicas entre ellos (Sardá y Sanmartí 2000; Kelly y Takao, 2002), por ese motivo nos basamos

en el TAP para analizar la argumentación de los estudiantes mientras realizan una actividad de laboratorio, ya que encaja mejor con nuestro interés.

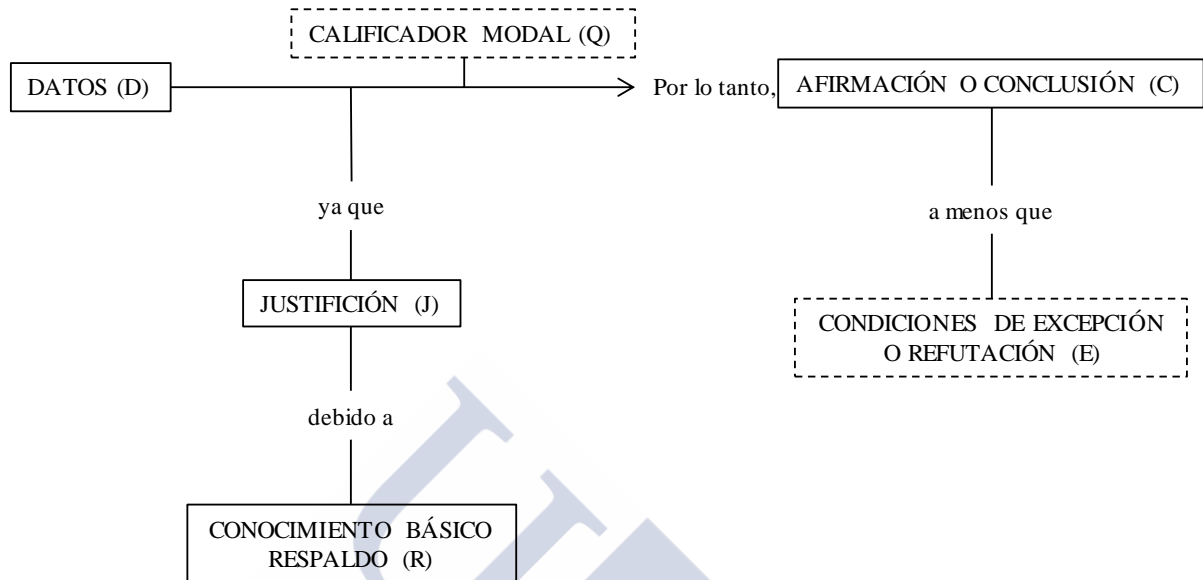


Figura 2.1: Adaptación del esquema de argumentación de Toulmin (TAP).

Otros autores, McNeill y Krajcik (2007 y 2012) plantean otro modelo de análisis de argumentos basado en el modelo de Toulmin proponiendo una relación entre los componentes de los argumentos, que son: la conclusión o explicación, que es similar a la conclusión de Toulmin; la prueba, que es similar a los datos de Toulmin y el razonamiento, que es una combinación de la justificación y el conocimiento básico de Toulmin, representado por Blanco Anaya (2015) (figura 2.2). Finalmente, Sampson y Clark (2009) añaden la refutación, que sería el último componente del argumento.

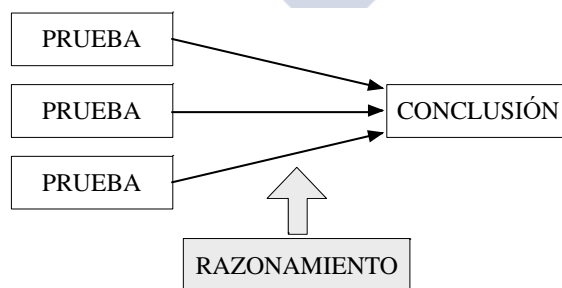


Figura 2.2: Relación entre las conclusiones y las pruebas a través del razonamiento según McNeill y Krajcik (2012), tomado de Blanco Anaya (2015)

Nuestra línea de investigación se enmarca en cómo los estudiantes son capaces de justificar sus conclusiones empleando el discurso argumentativo a la luz de las pruebas obtenidas en una actividad de indagación. Por este motivo, se deben identificar en las transcripciones los argumentos que Toulmin (1958) denomina *argumentos substantivos*. A veces, al identificar estos argumentos observamos que algún elemento no está expresado, pero sí implícito, por lo que es necesario añadirlo en el esquema para representar el argumento (van Eemeren, Grootendorst, Jackson y Jacob, 2000). En otras ocasiones estos argumentos contienen enunciados que no son totalmente correctos, pero que forman parte del camino en la construcción del conocimiento (Jiménez Aleixandre, 2003). Cuando se analizan los argumentos expuestos por los estudiantes se puede obtener información sobre el razonamiento científico que utilizan, los conocimientos alcanzados, los aspectos epistemológicos y las habilidades que tienen para justificar y comunicar sus ideas (Ceberio, Almudí y Zubimendi, 2014).

Debido a que no sólo se les solicitan argumentos orales sino también escritos en el informe final, debemos tener en cuenta que el argumento escrito plantea desafíos pedagógicos. Como indican Kelly, Regev y Prothero (2007) son necesarias las habilidades lingüísticas para incluir el conocimiento científico conceptual específico, el conocimiento de la argumentación y la tarea de la escritura, así como el conocimiento lingüístico del léxico y la gramática indicado por Halliday y Martin (1993). Sin embargo, los estudiantes parecen tener problemas similares en los argumentos escritos que en los orales, a pesar de preocuparse de elaborar argumentos coherentes que relacionen los datos con las conclusiones, a menudo no ofrecen suficientes justificaciones para sus conclusiones escritas (Sandoval y Millwood, 2008).

Las líneas de razonamiento son un modelo de análisis de la argumentación utilizado por Kelly, Regev y Prothero (2007) para examinar la argumentación escrita. Idearon este modelo para mejorar el análisis de la argumentación debido a la complejidad del razonamiento dialógico. Estos autores consideran que, para construir un razonamiento basado en pruebas, los estudiantes deben plantearse preguntas de investigación, desarrollando varias líneas de razonamiento que les lleven a conclusiones a partir de la interpretación de los datos, los cuales deben ser integrados en las pruebas. Según estos autores, estas pruebas deben ser suficientes, para apoyar la conclusión frente a interpretaciones alternativas, deben ir convergiendo en niveles epistémicos, para apoyar la conclusión, y al mismo tiempo deben estar construidas por inferencias válidas en todo el nivel epistémico de las justificaciones. Partiendo de estas líneas

de razonamiento, en nuestro estudio se analizan las líneas argumentativas que siguen los estudiantes hasta llegar a una conclusión, lo cual se explica con detalle en el capítulo 3 de metodología.

Otro aspecto relevante en el análisis de la argumentación es conocer la calidad tanto del proceso de argumentación como la del argumento en sí. En la literatura se recogen varias formas de examinar la calidad de la argumentación, a continuación, se resumen las más interesantes para este estudio.

Driver, Newton y Osborne (2000) consideran que la evaluación del argumento debe centrarse en la claridad de la conclusión, la pertinencia de la justificación, si se han tenido en cuenta las condiciones de excepción en la elaboración de las conclusiones y si se han presentado contraargumentos. Es decir, se centran principalmente en la estructura del argumento, considerando además si la justificación es o no adecuada y el papel de los contraargumentos, definidos por Kuhn (1991) como argumentos alternativos al propio y del oponente. Para Zohar y Nemet (2002) un buen argumento, además de presentar varias justificaciones, una estructura argumental compleja y contraargumentos, debe presentar refutaciones para fundamentar una conclusión con hechos científicos específicos, correctos y relevantes. Estas autoras ponen en relieve la necesidad de integrar el conocimiento científico en el argumento.

La relevancia de las justificaciones en la argumentación ha llevado a considerar que los argumentos con más de una justificación sean de mayor calidad (Jiménez Aleixandre y Díaz de Bustamante, 2003). Osborne, Erduran y Simon (2004) elaboraron una rúbrica en la cual establecen cinco niveles de creciente calidad que permiten evaluar los argumentos de los estudiantes (tabla 2.1). Así, estos autores consideran a las refutaciones como el elemento que otorga mayor calidad a los argumentos y a su vez, utilizarlas en un argumento demuestra un alto nivel de capacidad de argumentación. Estos mismos autores hacen una distinción entre argumento y argumentación. Mientras que consideran al argumento un elemento formado por la afirmación, el dato, la justificación y los respaldos, califican a la argumentación como el proceso que genera ese argumento.

Para evaluar la calidad de los argumentos escritos, los autores Sampson, Grooms y Walker (2011) proponen los siguientes aspectos: conclusión apropiada, debe ser correcta; la pertinencia de los referentes conceptuales considerados en el argumento; la calidad de la

prueba, que tiene que ser adecuada y suficiente, y la suficiencia del razonamiento, que debe justificar que la prueba soporta la conclusión.

Tabla 2.1: Rúbrica para analizar la calidad de los argumentos elaborada por Osborne, Erduran y Simon (2004).

Nivel 1	La argumentación consiste en argumentos con una conclusión sencilla en contra de un contrargumento o una conclusión contra otra conclusión.
Nivel 2	La argumentación tiene argumentos que constan de conclusiones, datos, justificaciones, y/o conocimientos básicos, pero no contienen refutaciones.
Nivel 3	La argumentación tiene argumentos con una serie de conclusiones o contraargumentos, datos, justificaciones, y/o conocimientos básicos con la refutación débil ocasional.
Nivel 4	La argumentación muestra argumentos con una conclusión y una refutación claramente identificables. Como un argumento que puede tener varias conclusiones y contraargumentos, aunque no es necesario.
Nivel 5	La argumentación muestra un argumento completo con más de una refutación.

En definitiva, la argumentación es importante porque hacer ciencia implica discutir, razonar, argumentar, criticar y justificar las explicaciones. Por otro lado, enseñar y aprender ciencias requiere de estrategias basadas en el lenguaje, y como el aprendizaje es un proceso social donde las actividades discursivas son esenciales, podemos decir que la argumentación permite construir, aplicar y comprender ideas, modelos y explicaciones (Henao y Stipcich, 2008). Cabe destacar que uno de los aspectos más relevantes, ya comentados sobre el proceso argumentativo, es que los estudiantes sean capaces de usar datos y pruebas para dar consistencia a sus argumentos y que éstos difieran de una simple opinión, para lo cual la indagación juega un papel esencial que se describe a continuación.

2.2. INDAGACIÓN

El trabajo práctico juega un papel importante en el aprendizaje de las ciencias. En los años sesenta y setenta tuvo una promoción importante en proyectos como *Biological Sciences Curriculum Study* (BSCS) (Moore et. al., 1968) en Estados Unidos o *Nuffield* de biología,

física y química (Nuffield Foundation, 1974) en Inglaterra, en dichos proyectos se proponía un estilo de enseñanza en el cual el trabajo práctico realizado por los estudiantes les conduciría a los fundamentos conceptuales, y el papel del profesor sería de apoyo y guía.

Hodson (1994) indica que los objetivos de los profesores acerca de estos trabajos se pueden clasificar en seis categorías:

- 1) Motivar, ya que estimulan el interés y son entretenidos.
- 2) Desarrollar actitudes científicas.
- 3) Mejorar el aprendizaje del conocimiento científico.
- 4) Adiestrarse en el método científico.
- 5) Enseñar las técnicas de laboratorio.
- 6) Desarrollar la capacidad de llevar a cabo investigaciones científicas y obtener experiencia de ello.

Este autor considera que los trabajos prácticos están sobreutilizados, al ser empleados por los profesores de forma indiscriminada, y que los datos relacionados con los estudios sobre su eficacia, no son concluyentes. Posteriormente, Álvarez (2007) sugiere que cuando los trabajos prácticos están mal diseñados, no se explota su potencial educativo.

Algunos autores (Qualter, Strang, Swatton y Taylor, 1990; Tamir, 1977; Tamir y García Rovira, 1992) consideran que se deben diseñar las actividades prácticas como investigaciones, en las que se estudie la naturaleza por medio de la exploración, la investigación, la comprobación y la explicación, en lugar de realizar experiencias tipo 'receta' con las que confirmar hechos y teorías mediante la obtención de los resultados correctos.

Para llevar a cabo trabajos prácticos en el laboratorio hay que diseñarlos con tal fin. Lo cual implica tener claro qué tipo de trabajos prácticos hay. Para ello, a continuación, se detallan algunas de las clasificaciones de los trabajos prácticos más significativas en esta área, basadas en la implicación que requieren por parte del estudiante.

Woolnough y Allsop (1985) diferencian tres tipos de actividades prácticas dependiendo de los objetivos que se persigan:

Ejercicios, diseñados para desarrollar técnicas y destrezas prácticas;

Experiencias, en las que se propone que los alumnos tomen consciencia de determinados fenómenos naturales;

Investigaciones, en las que los estudiantes tienen la oportunidad de enfrentarse a tareas abiertas y actuar como científicos que resuelven problemas.

Estos mismos autores entienden que existen diseños de trabajos prácticos que puedan cumplir al mismo tiempo varios objetivos de los indicados, pero que en ningún caso el objetivo será reforzar y comprobar la teoría correspondiente.

En cuanto a Gott y Dugan (1995) proponen cinco tipos:

Habilidades (skills), para adquirir una habilidad particular;

Observación, proporciona la oportunidad a los alumnos de utilizar su marco conceptual para relacionar objetos reales con acontecimientos de ideas científicas;

Indagación (Enquiry o Inquiry), para descubrir o adquirir un concepto, ley o principio (son cuidadosamente diseñadas para permitir a todos los estudiantes llegar al mismo punto final);

Ilustración, para demostrar o verificar un concepto en particular, ley o principio;

Investigación, que proporciona la oportunidad para que los alumnos utilicen conceptos, procesos cognitivos y habilidades para resolver un problema.

Partiendo de las dos clasificaciones anteriores, Caamaño (2005) propone cuatro modalidades:

Experiencias que pueden ser *perceptivas* o *interpretativas*, cuya finalidad es explorar las ideas de los estudiantes;

Experimentos ilustrativos, aportan evidencias experimentales,

Ejercicios prácticos, para aprender habilidades prácticas y procesos y para corroborar la teoría;

Investigaciones, para aprender a investigar y resolver problemas teóricos (en el marco de la elaboración de modelos) y para aprender a investigar y resolver problemas prácticos (aplicación de modelos).

Estas modalidades van incrementando el grado de independencia de los estudiantes a la hora de realizar una actividad práctica, siendo el mayor grado de independencia cuando describen

las actividades del tipo investigación, que permiten a los estudiantes adquirir la habilidad de resolver problemas, que según Gil y Martínez-Torregrosa (1983), es una situación en la que a priori no tenemos la solución o que ésta es desconocida, es decir, la solución no es obvia.

Por su diseño, la propuesta didáctica de este estudio se encuadra en las investigaciones que conllevan la resolución de problemas, es decir, una investigación en la cual los estudiantes deben aplicar sus conocimientos en una nueva situación (Gott y Dugan, 1995). Estos autores consideran la investigación un tipo específico de resolución de problemas, es decir, la consideran una tarea en la cual los estudiantes no pueden saber de forma inmediata una respuesta o recordar un método rutinario para encontrarla. Siguiendo la clasificación de Woolnough y Allsop (1985) también se considera una investigación al estar diseñada como una actividad abierta, en la cual los estudiantes deben actuar como científicos mientras intentan resolver el problema, al igual que Caamaño (2005), porque los estudiantes deben elaborar y aplicar el modelo escolar de la actividad enzimática y establecer estrategias para la resolución del problema. Estas estrategias son equivalentes a diseños experimentales en los problemas que requieren contrastación (Ceberio, Guisasola y Almudí, 2005). Por este motivo, con el problema planteado, pretendemos que los estudiantes tengan la oportunidad de usar su pensamiento para realizar una actividad sin protocolo, como sugieren Tenreiro-Vieira y Marques Vieira (2006), en la que deben elaborar hipótesis, diseñar experimentos, definir e identificar variables, evaluar resultados y comunicar conclusiones. La finalidad específica de la tarea no es la memorización de conceptos teóricos, necesarios para la resolución del problema, sino que empleen sus capacidades y conocimientos para resolverlo.

Las actividades que realizan los estudiantes para la comprensión de las ideas científicas y para el desarrollo de conocimientos científicos se engloban bajo el término indagación (National Research Council, 1996), y este tipo de actividades les ayuda a comprender la forma en la que los científicos estudian el mundo natural. Según el National Research Council, una actividad de indagación requiere realizar diferentes acciones como: hacer observaciones, plantear preguntas, examinar fuentes de información, planificar investigaciones, revisar con pruebas experimentales algo conocido, utilizar instrumentos para obtener, analizar e interpretar datos, proponer respuestas, explicaciones y predicciones y comunicar los resultados.

Con la indagación, no se busca que los estudiantes establezcan leyes científicas, ya que no podemos pretender que, en el aula de ciencias, los estudiantes actúen como verdaderos

científicos, porque los procesos cognitivos necesarios para realizar una auténtica investigación científica son diferentes a los necesarios para realizar una investigación en el aula (Díaz de Bustamante y Jiménez Aleixandre, 1999; Chinn y Malhotra, 2002). Además, en la indagación escolar no hay ni medios ni tiempo para realizar una auténtica actividad de investigación (Grandy y Duschl, 2008). Por eso, como indican Díaz de Bustamante y Jiménez Aleixandre (2006) hay una transformación desde la ciencia de los científicos hasta la ciencia de la escuela. A pesar de no ser una ‘auténtica investigación’, los estudiantes sí pueden aprender a hacer y experimentar la ciencia, puesto que están haciendo la práctica de la ciencia. Tomando las palabras de Hodson (1994) *“si permitimos que los estudiantes lleven a cabo sus propias investigaciones contribuiremos en gran medida a desarrollar su comprensión de la naturaleza de la ciencia”* (p. 307). Es decir, aunque no sean verdaderos científicos, mientras realizan actividades de investigación, actúan como ellos (Caamaño, 2003) y estas actividades ayudan a los estudiantes a la familiarización, observación e interpretación de los fenómenos que estudian las ciencias. Asimismo, como indica Caamaño, permiten contrastar hipótesis en los procesos de modelización de la ciencia escolar, aprender del manejo de instrumentos y técnicas de laboratorio, aplicar estrategias de investigación para la resolución de problemas, tanto teóricos como prácticos y, en definitiva, mejorar la comprensión procedimental de la ciencia.

Según Bell, Maeng y Peters (2010) para que una actividad sea considerada de indagación, debe implicar cuestiones de investigación al mismo tiempo que debe dar la oportunidad de analizar datos para responder a esas cuestiones. De modo que, para alcanzar los objetivos deseados en una actividad de tipo investigativo, éstas deben estar diseñadas como problemas auténticos (Chinn y Malhotra, 2002). Para ello deben presentar unas características determinadas que, según Jiménez Aleixandre (2010), son: a) la solución no es obvia, es decir, constituyen un verdadero problema; b) deben estar contextualizadas con la realidad próxima del estudiante; c) deben tener diferentes respuestas o caminos experimentales diferentes; d) los estudiantes deben involucrarse en las prácticas científicas, como la formulación de hipótesis, contrastar éstas con pruebas, la argumentación o la modelización.

Según como sea su diseño, estas actividades de indagación tendrán un grado de apertura mayor o menor. Herron (1971, citado por Tamir y García Rovira, 1992) distingue cuatro niveles de indagación para las actividades de laboratorio, dependiendo de su nivel de apertura, que van desde el nivel 0 hasta el nivel 3. En el nivel 0 el problema, el procedimiento y la conclusión

se indican con antelación, y los niveles de apertura irían incrementándose hasta el nivel 3, en el cual los tres serían abiertos, es decir, son los estudiantes los que proponen los problemas, los procedimientos a seguir y llegan a las conclusiones a partir de los resultados obtenidos (tabla 2.2).

Tabla 2.2: ILI - Inventario del Nivel de Indagación en el Trabajo Práctico de Herron (1971) (citado por Tamir y García Rovira, 1992).

Nivel	Problemas	Procedimientos	Conclusiones
0	se dan	se dan	se dan
1	se dan	se dan	abierta
2	se dan	abierta	abierta
3	abierta	abierta	abierta

En nuestra propuesta didáctica los estudiantes tienen que responder, analizando los datos obtenidos en pruebas experimentales, las posibles causas por las cuales se detienen las reacciones enzimáticas de nuestro problema, por lo tanto, es de nivel 2 de apertura.

Además, las actividades de indagación requieren otras destrezas, como utilizar el pensamiento lógico y crítico, identificar suposiciones y considerar que existen otras explicaciones para un mismo fenómeno (Jiménez Aleixandre, 1998). Tal como sugieren Latour y Woolgar (1995), los procesos de pensamiento de los científicos no difieren de los que se emplean para solucionar los problemas cotidianos. Por eso consideramos, igual que Caamaño (1992, 2005), que las actividades de laboratorio fomentan el pensamiento de los estudiantes porque, cuando les planteamos un problema, les damos la oportunidad de que sean ellos los que piensen la manera de resolverlo, buscando las herramientas necesarias para dar una solución. Por eso, cuando están diseñadas como actividades propiamente de indagación, se contribuye al aprendizaje de las ciencias, porque permiten desarrollar prácticas científicas, que requieren de los estudiantes el conocimiento teórico para su resolución (Crujeiras Pérez, 2014; Crujeiras Pérez y Jiménez Aleixandre, 2012 y 2015).

Siguiendo con las destrezas propias de un trabajo práctico de laboratorio, los investigadores Fuhrman, Novick, Lunetta y Tamir (1978) desarrollaron el Inventario de habilidades para evaluar las actividades de laboratorio (LAI, Laboratory Analysis Inventory), que consta de cuatro categorías que agrupan las destrezas implicadas en cada una de ellas: planificación,

realización, análisis y aplicación, y dentro de cada una se incluyen una serie de habilidades que puede necesitar o no, el estudiante, para realizar dicho trabajo práctico, a las cuales se contesta sí o no (Tabla 2.3).

Tabla 2.3: LAI - Laboratory Analysis Inventory (Fuhrman, Novick, Tamir y Lunetta, 1978).

CATEGORÍAS

1. PLANIFICACIÓN el estudiante:
1.1. Formula una cuestión o define un problema para ser investigado;
1.2. Predice resultados experimentales;
1.3. Formula hipótesis;
1.4. Diseña observaciones o procedimientos;
1.5. Diseña un experimento
2. REALIZACIÓN el estudiante:
2.1. Realiza observaciones y medidas;
2.2. Utiliza aparatos;
2.3. Anota resultados;
2.4. Hace cálculos numéricos;
2.5. Explica procedimientos;
2.6. Trabaja según su propio diseño.
3. ANÁLISIS el estudiante:
3.1. Representa los datos en una tabla, gráficamente, realiza dibujos basados en sus propias observaciones;
3.2. Extrae conclusiones o relaciones;
3.3. Determina con exactitud los resultados experimentales;
3.4. Define las limitaciones y los supuestos inherentes al experimento;
3.5. Formula generalizaciones o propone modelos;
3.6. Explica interrelaciones;
3.7. Formula nuevas preguntas.
4. APLICACIÓN el estudiante:
4.1. Hace predicciones basadas en los resultados experimentales;
4.2. Formula hipótesis basadas en los resultados experimentales;
4.3. Aplica las técnicas experimentales a un problema nuevo;
4.4. Aplica los resultados experimentales a un nuevo contexto.

Como indica de Pro Bueno (1998), quien propuso una clasificación más actualizada para establecer qué habilidades de investigación, manipulativas y de comunicación deben utilizar los estudiantes mientras realizan dichas actividades, la “*utilidad de la realización de este tipo de clasificaciones está en que ayudan a clarificar ideas, o al menos al cuestionamiento de las propias, a reflexionar sobre la práctica educativa... pero, sobre todo, tienen un carácter instrumental*” (p. 25).

Para analizar cómo los estudiantes realizan la investigación, empleamos el modelo propuesto en el proyecto inglés APU (Assesment of Performance Unit, 1984, tomado de Qualter et. al, 1990, y de Albaladejo y Caamaño, 1992) donde se proponen los procesos implicados en la resolución de problemas. Consta de una serie de fases sucesivas (figura 2.3): percepción del problema, reformulación, planteamiento del experimento, realización del experimento, registro de los datos, interpretación de dichos datos y conclusiones y evaluación. Mientras los estudiantes no llegan a una solución, pueden reformular el problema, cambiar el diseño del experimento o cambiar la técnica del experimento, las veces que consideren oportunas. Sin embargo, en toda actividad práctica debe haber una relación entre la teoría y la práctica, puesto que, existe una interacción entre las experiencias obtenidas por los estudiantes, mientras realizan el trabajo práctico, y la comprensión teórica que adquieren de los conceptos subyacentes (Woolnough y Allsop, 1985).



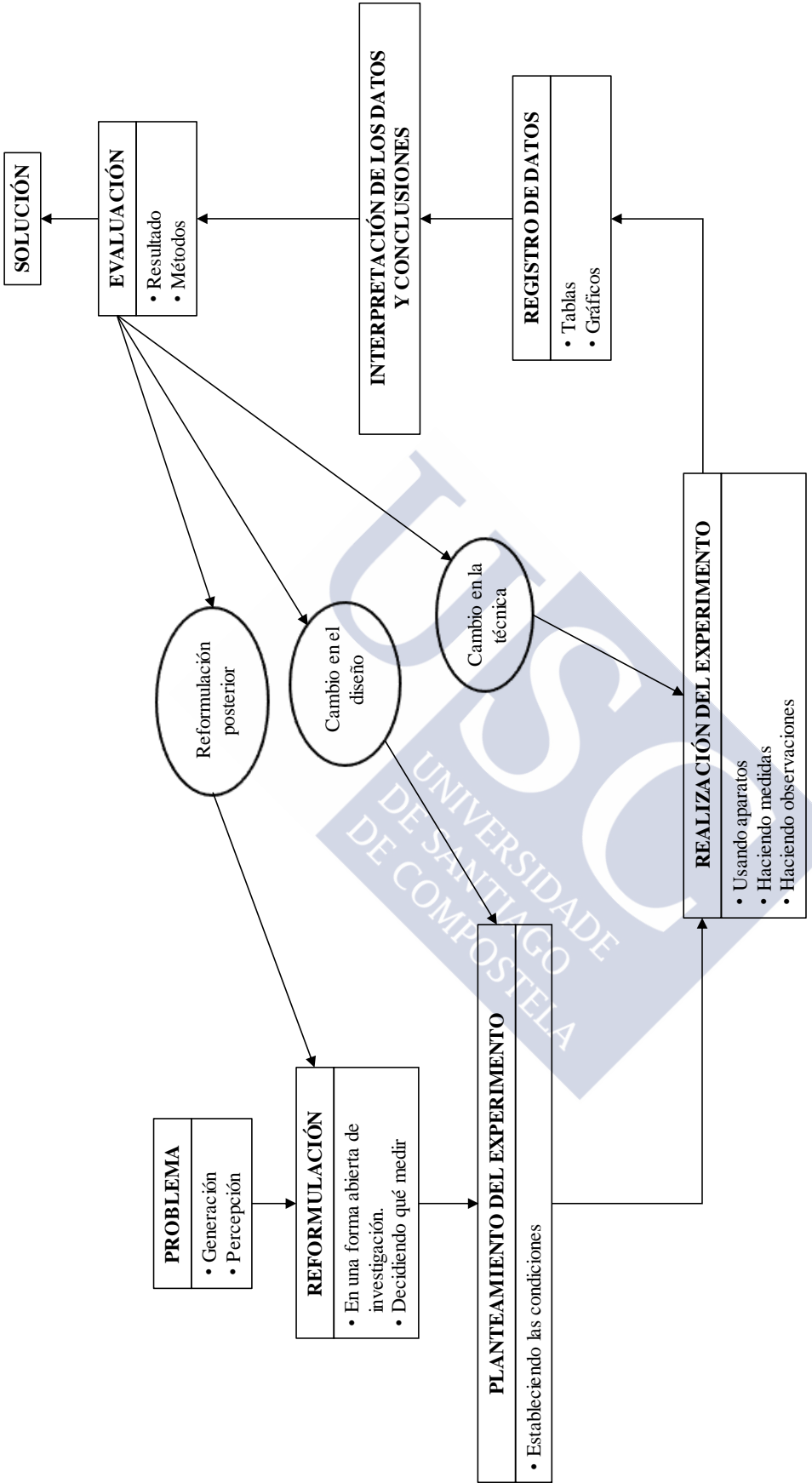


Figura 2.3: Diagrama de las etapas de investigación según el proyecto APU (1984, tomado de Caamaño, 2011b)

Diferentes estudios muestran las dificultades que tienen los estudiantes a la hora de realizar una actividad de indagación, las cuales debemos tener en cuenta no sólo para el diseño de las actividades, sino también para su implementación. Una dificultad está asociada a la cultura escolar de los estudiantes, es decir, consideran que su trabajo consiste en seguir las instrucciones del profesor, es decir, que éste debe indicarles los pasos a seguir (Reigosa Castro y Jiménez Aleixandre, 2000). Esto discrepa con la propia esencia de las actividades de indagación, en las que el docente debe actuar como apoyo. Así, Puntambekar y Kolodner (2005) señalan que los estudiantes necesitan el apoyo del profesor (andamiaje) para comprender el problema que deben investigar, y aplicar el conocimiento para elaborar el diseño de la investigación para resolver dicho problema. Otra dificultad está relacionada con la puesta en práctica del diseño experimental, pues según Zimmerman (2000) los estudiantes son poco sistemáticos en su planificación y, en ocasiones, las preguntas de investigación no son acordes con el problema planteado (Krajcik et al., 1998). Llegado el momento de interpretar los datos obtenidos, Chinn y Brewer (1998) señalan que es común que los estudiantes tiendan a desautorizar los datos obtenidos si éstos no respaldan su teoría inicial, de tal modo que los ignoren o rechacen. En esta línea, Kanari y Millar (2004) indican que cuando los estudiantes toman los datos, éstos son insuficientes o no son apropiados para llegar a conclusiones, o las conclusiones a las que llegan no están apoyadas en datos.

Estas dificultades comentadas deben ser consideradas pero por ello no debemos dejar de proponer actividades de indagación pues estas actividades proporcionan un ambiente de aprendizaje que potencia el desarrollo de habilidades como la cooperación y la comunicación (Hofstein, 2004, Reiser et. al., 2001), porque mientras se realiza la actividad en el laboratorio los estudiantes trabajan de forma cooperativa (Hofstein y Lunetta, 2004). Tal y como indican Woonough y Allsop (1985) en la colaboración en grupo hay muchas ventajas, mientras trabajan en un tema común se produce una interacción y una retroalimentación entre los alumnos que puede ser muy constructiva, favoreciendo así la construcción de su conocimiento científico o de su modelo, lo cual se aborda a continuación.

2.3. MODELIZACIÓN

Uno de los objetivos de la enseñanza de las ciencias es que los estudiantes sean capaces de explicar fenómenos de forma científica. Cuando les requerimos que interpreten dichos fenómenos, les pedimos que a partir de un modelo desarrollen una explicación (Caamaño, 2011a). Por eso Justi y Gilbert (2002) señalan la importancia que tienen los modelos en la enseñanza de las ciencias en relación a los objetivos propuestos por Hodson (1992, 2003): a) *aprender ciencias*, es decir, tener conocimiento sobre la naturaleza, aplicación y limitaciones de los principales modelos de la ciencia, de los que en el aula se enseñan simplificaciones que se denominan *modelos curriculares*; b) *aprender sobre ciencias*, es decir, comprender la naturaleza de los modelos y poder evaluarlos; y, por último, c) *aprender a hacer ciencia*, los estudiantes deben tener la capacidad de elaborar, expresar y evaluar sus modelos.

La modelización permite construir, emplear y evaluar modelos (Oliva, 2011). Greca y Moreira (1998) entienden la modelización como el establecimiento de relaciones semánticas entre la teoría y los fenómenos, porque el proceso de modelización permite explicar el significado de los modelos teóricos relacionándolos con los fenómenos u objetos que se quieren modelar.

Izquierdo y Adúriz-Bravo (2005) denominan modelización al “*proceso de transformación del mundo que se produce como consecuencia del pensamiento científico y ‘modelos teóricos’ a las ideas básicas, fundamentales, irreducibles, que las ciencias han establecido para pensar sobre los diferentes tipos de fenómenos que estudian*” (p. 3). La construcción de los modelos se realiza mezclando elementos de la realidad a modelar, de la teoría y de elementos externos a ambos (Justi, 2006).

En sí, la palabra modelo es polisémica, es decir, tiene significados diferentes según el contexto en el que se utilice. A continuación, se analizan definiciones para este término en el ámbito de la didáctica de las ciencias.

Un modelo es, según Ríos (1995), “*un objeto, concepto o conjunto de relaciones, que se utilizan para representar y estudiar de forma simple y comprensible una porción de la realidad empírica*” (p. 24-25). La idea del modelo como una representación se aprecia también en la definición propuesta por Gilbert, Boulter y Elmer (2000), quienes indican que un modelo es una representación de un fenómeno producido inicialmente para un propósito específico, y su finalidad es una simplificación del fenómeno que se utilizará en las investigaciones para desarrollar explicaciones del mismo. De forma similar, Del Re (2000), dice que los modelos

son simplificaciones o representaciones idealizadas de los sistemas que se supone existen en la naturaleza. Para Galagovsky y Adúriz-Bravo (2001) los modelos son “*herramientas de representación teórica del mundo, auxiliares para explicarlo, predecirlo y transformarlo*” (p. 233). Justi (2006) nos dice que el significado más utilizado de modelo es “*una representación concreta de alguna cosa*” (p. 175), en nuestro caso de un fenómeno natural objeto de las ciencias.

Pese a que todas las definiciones consideran que los modelos son una forma de representación, hay que tener en cuenta la aclaración que nos hacen Schwarz et al. (2009) quienes indican que no todas las representaciones son modelos y definen los modelos como “*representaciones especializadas que incorporan aspectos de mecanismo, la causalidad, o función para ilustrar, explicar y predecir fenómenos*” (p. 634).

De todas ellas, la definición que nosotros tomamos es la propuesta por Gilbert, Boulter y Elmer (2000), pues en ella se resume el fin último de la propuesta didáctica que se presenta en esta tesis, es decir, dada una simplificación de las reacciones enzimáticas, los estudiantes deben emplearlo para generar explicaciones que giran en torno a qué elemento se agotó antes en la reacción.

Podemos decir que los modelos son la principal herramienta de representación en las ciencias, pero no es el modelo lo que hace la representación, sino que es el científico, utilizando el modelo, el que está haciendo la representación (Giere, 2004). Sin embargo, Grosslight et. al. (1991) han demostrado que muchos estudiantes de secundaria no reconocen el papel de los modelos como una herramienta mental y consideran que los modelos son copias de fenómenos científicos y su comprensión de esos modelos es ingenua y simplista.

Por otra parte, Morrison y Morgan (1999) consideran que los modelos son parcialmente independientes de las teorías y del mundo, y gracias a su papel autónomo en el trabajo científico se pueden usar como instrumentos de investigación en ambos dominios.

Tomasi (1999) indica que, según su significado, los modelos en ciencias son por definición incompletos con respecto a la referencia empírica para la cual se construyen. Este autor realiza una clasificación de los modelos en *materiales* y *abstractos* y a su vez, todos ellos pueden ser *icónicos*, *analógicos* y *simbólicos* basándose en la similitud con el referente, es decir, la referencia empírica. Lo interesante de este autor es que considera que el modelo de ‘cerradura y llave’ de enzimología es un modelo abstracto simbólico, pero cuando se representa con

materiales como bolas y palos, lo considera un modelo icónico material. Tal y como le pedimos a los estudiantes que empleen el modelo de reacción enzimática, sería un modelo abstracto y simbólico, abstracto porque los estudiantes tienen que interiorizarlo para su uso y simbólico porque deben tener en cuenta el modelo escolar aportado (figura 4.3), puesto que este modelo descuida la ‘analogía de forma’ con el referente y únicamente se basa en la ‘analogía de la función’ del modelo con el referente.

Otra clasificación de modelos la aportan Harrison y Treagust (2000), quienes describen diez tipos de modelos diferentes, pero concluyen en que todos se incluyen en la categoría de *modelos mentales*.

Como hemos indicado, existen diferentes clasificaciones de modelos, pero la clasificación más adecuada para nuestra investigación es la descrita por Gilbert, Boulter y Elmer (2000). Estos autores clasifican a los modelos en: *modelos mentales*, que son representaciones cognitivas personales y privadas, los forma el individuo, no son directamente accesibles y por tanto sólo podemos analizarlos a través de las explicaciones y actuaciones del propio individuo. Estas explicaciones constituyen los *modelos expresados*, es decir, el individuo o el grupo de individuos sitúa el modelo en el dominio público, por lo general para interactuar, es decir, exteriorizan las representaciones a través del uso de uno o más modos de representación; hablamos de *modelos consensuados* cuando los individuos llegan a un acuerdo del modelo expresado, después de la discusión y experimentación; los *modelos históricos* son los modelos de consenso elaborados en contextos históricos; el *modelo curricular* está incluido en el currículo y es simplificado; los *modelos de enseñanza* se elaboran para ayudar a comprender el proceso, pueden elaborarlos tanto profesores como estudiantes; el *modelo híbrido* fusiona diferentes características de los modelos anteriores; el *modelo pedagógico* que se refiere a la naturaleza de la ciencia, la naturaleza de la enseñanza de las ciencias, y la naturaleza del aprendizaje de las ciencias, utilizadas por los profesores para la planificación de las actividades de aula. En concreto para el análisis de nuestro estudio utilizaremos los modelos expresados, los modelos consensuados y el modelo curricular, al que denominamos escolar.

Tanto en la citada clasificación de los modelos elaborada por Gilbert, Boulter y Elmer (2000), como en la propuesta por Harrison y Treagust (2000) aparecen los *modelos mentales*. Estos modelos son representaciones internas que forman parte de cada individuo con el que percibimos y conceptualizamos el mundo que nos rodea (Johnson-Laird, 1983).

Sin embargo, Norman (1983) indica que se deben considerar cuatro entidades diferentes en los *modelos mentales*, que son: el *sistema objetivo*, el *modelo mental del usuario del sistema objetivo*, el *modelo conceptual de ese sistema objetivo* y la *conceptualización del científico de ese modelo mental*. Este autor también indica que los modelos mentales evolucionan y que este proceso de evolución se produce a través de la interacción con el sistema objetivo, las personas formulan modelos mentales de ese sistema y estos modelos no tienen por qué ser precisos, además, mientras siga la interacción con el sistema, esa persona seguirá modificando el modelo mental con el fin de llegar a un resultado satisfactorio. Este proceso de evolución se espera en los estudiantes que participan en nuestra investigación, ya que al interaccionar con el sistema deberían modificar sus modelos hasta conseguir el resultado que consideren satisfactorio. Este mismo autor, indica que los modelos mentales son incompletos, inestables y no tienen límites sólidos, mientras que el “*modelo conceptual* (de ese sistema objetivo) *es inventado para proporcionar una representación adecuada del sistema que se quiere representar; adecuada en el sentido de ser precisa, consistente y completa. Los modelos conceptuales son inventados por los profesores, diseñadores, científicos e ingenieros*” (p. 7).

La relación entre los modelos conceptuales y mentales no es directa y simple (Moreira, Greca y Rodríguez, 2002). En el sentido aportado por los estudios realizados por Larkin (1983), en los cuales estudia los modelos elaborados por novatos y expertos, se concluye que los novatos elaboran modelos a partir de objetos físicos (del mundo real) y, por tanto, serían descriptivos, mientras que los expertos cuando elaboran modelos utilizan además de representaciones del mundo real, representaciones de entidades imaginarias y ficticias, para la solución del problema, estos modelos serían explicativos.

Coincidiendo con Norman (1983), Greca y Moreira (1998) nos indican que los modelos mentales son representaciones internas, idiosincráticas, incompletas, inestables, personales y básicamente funcionales. Además, consideran que la principal función de los modelos mentales es la de “*permitir a su constructor explicar y hacer previsiones respecto al sistema físico representado*” (p. 109).

Con relación a los modelos mentales, Bower y Morrow (1990) nos indican que las personas los construyen con el fin de representar aspectos significativos de su mundo físico y social y los manipulan para pensar, planificar, y tratando de explicar los acontecimientos.

Para Vosniadou (1994) los modelos mentales son representaciones dinámicas y generativas, es decir, pueden ser manipulados mentalmente para explicar las causas de los fenómenos físicos y al mismo tiempo hacer predicciones sobre el estado de cosas en el mundo físico.

Según Johnson-Laird (1983) hay tres clases de representaciones mentales: *representaciones proposicionales*, que son cadenas de símbolos; *modelos mentales*, análogos del mundo e *imágenes*, visuales del modelo.

Siguiendo la concepción de Johnson-Laird, Gutiérrez (2004) considera que los elementos constituyentes de los modelos mentales son dos: una primera representación mental del sistema físico que se quiere modelizar y una segunda representación mental, que se deduce a partir de la primera, esta segunda estará dotada de reglas de inferencia que permitirán la predicción de posibles futuros estados del sistema físico modelizado. Gracias a esta segunda representación se puede comparar el comportamiento del sistema *modelizado* con el sistema *real modelizado* y, evaluando los modelos, se podrá validar el modelo o rechazar si no hay correspondencia entre el comportamiento real y el modelado. Esta misma autora (Gutiérrez, 2004) analiza estos elementos en términos operativos e indica que la primera representación constituye una *ontología* del sistema que se quiere modelizar y la segunda representación permite predecir y explicar, es decir, opera en una *epistemología* implícita que evalúa las explicaciones.

Teniendo en cuenta que la elaboración y evolución de los modelos mentales es el resultado de la evolución cognitiva de los estudiantes y es consecuencia de la interacción entre los modelos mentales y las versiones didácticas de los modelos científicos (Gutiérrez, 1996; Acher, Arcà y Sanmartí, 2007), se pueden considerar también las *analogías* como una forma de evolución cognitiva. Así, Oliva y Aragón (2009) definen las analogías como recursos que permiten a los estudiantes construir conocimiento a partir de la comprensión de otro dominio más conocido y familiar para ellos, es decir, a través de analogías se puede adquirir una comprensión de situaciones nuevas que pueden ser construidas por comparación con dominios más familiares de conocimiento (Wong, 1993). Oliva y Aragón (2009) consideran que para construir la analogía los estudiantes deben poseer un modelo mental incipiente sobre el objeto de estudio, un modelo mental de la situación análoga (referencia), y un modelo enseñado delimitado por un conjunto de herramientas y representaciones didácticas. Asimismo, Vosniadou (1994) indica que un tipo especial de representación mental es la *representación analógica*, esta

representación la generan los individuos durante el funcionamiento cognitivo, y tiene la característica especial que conserva la estructura de lo que se supone que representa.

El uso de analogías ha sido empleado históricamente por diferentes investigadores (por ejemplo: Darwin, Bohr, Mendeleiev, o Fisher y su modelo llave-cerradura de enzimas) para su trabajo científico y para la comunicación de estos trabajos. Las analogías ayudan a explicar algo desconocido desde algo que se conoce, favoreciendo el razonamiento, generando nuevos conceptos, ayudando a establecer nuevas teorías, etc.

Asimismo, Duit (1991) nos indica las ventajas que tienen las analogías desde una perspectiva constructivista del aprendizaje. Las considera valiosas herramientas en el aprendizaje y en el cambio conceptual porque facilitan la comprensión de lo abstracto al mostrar similitudes con el mundo real y, por tanto, proporcionan una visualización de lo abstracto. Además, pueden favorecer el interés de los estudiantes y, entonces, motivarlos; al mismo tiempo que ayudan a revelar concepciones alternativas en áreas ya enseñadas.

Son muchos los autores que analizan las analogías que se enseñan en el aula (Galagovsky y Adúriz-Bravo, 2001; Oliva, 2004, Aragón, Oliva y Navarrete, 2009). Sin embargo, no existen muchos estudios sobre las analogías usadas por los estudiantes para explicar el fenómeno estudiado. Pozo, Sanz, Gómez Crespo y Limón (1991) sugieren que, cuando los estudiantes intentan entender una situación, usan analogías de forma casual, basadas en aspectos poco relevantes del fenómeno, las analogías se forman a partir de concepciones que ya tienen los estudiantes. En la elaboración de nuevas ideas juega un papel importante el lenguaje (Sutton, 2003) que junto con el uso de analogías ayudan a los estudiantes a desarrollar conocimientos. Para representar este proceso de construcción de modelos (modelización) en el aula, Justi y Gilbert (2002) elaboraron un esquema, a partir del ciclo de Generación, Evaluación y Modificación (GEM) propuesto por Clement (1989), en el que representan un diagrama para el proceso de construcción de modelos “Model of Modelling Diagram” (figura 2.4). Este esquema está formado una serie de elementos y etapas interrelacionadas que representan cómo se va construyendo el modelo del objeto a modelar.

Siguiendo este esquema y lo indicado por Justi (2006), lo primero que hay que tener en cuenta para construir el modelo son los objetivos, es decir, hay que definir cuál es el motivo por el cual se construye el modelo. Cuando está definido, se debe buscar la experiencia que se tiene con el objeto a modelar, esta experiencia puede deberse a observaciones empíricas (como

ocurre en nuestro caso de estudio) o puede deberse a informaciones ya existentes (cognitivas o externas), al mismo tiempo se deben seleccionar los aspectos de la realidad usados para elaborar el modelo mental, hasta aquí se considera que llega la primera etapa del proceso de construcción del modelo y es diferente en cada caso. Como esta etapa es cíclica se representa con flechas con doble sentido (figura 2.4). Una vez terminada la primera etapa, empieza la etapa 2 en la que el individuo tiene que expresar, de alguna manera, su modelo mental. La forma de expresarlo es mediante una representación que puede ser visual, matemática, verbal (esta representación es la utilizada por los estudiantes mientras realizan nuestra propuesta didáctica), son los *modelos expresados* definidos por Gilbert, Boulter y Elmer (2000). Esta etapa del esquema también es cíclica puesto que al expresar el modelo se van realizando modificaciones, por ese motivo se representa con flechas de retroceso en el proceso (figura 2.4). En la siguiente etapa se debe comprobar el modelo, para lo cual los estudiantes deben llevar a cabo experimentos mentales y planificar y realizar pruebas experimentales, estos dos pasos pueden ser sucesivos o pueden utilizar uno solo de ellos, utilizar uno o los dos dependerá de los conocimientos previos del individuo o del grupo, además de los recursos para la comprobación y del tema del modelo. Asimismo, no se puede predecir en qué orden se utilizan ni cuantas veces (Justi, 2006), en cualquier caso, si falla se deberá intentar modificar el modelo para solventar el problema, o incluso rechazarlo volviendo a la etapa 1 del proceso. Cuando se rechaza el modelo, se añade al proceso un conocimiento adquirido que formará parte de las experiencias del individuo sobre el objeto a modelar. Pero, si esta tercera etapa tiene éxito y pasa la fase de pruebas empíricas, es decir, el modelo cumple el propósito para el cual fue modelado, entonces, se pasa a la etapa 4. En esta última etapa se deberá considerar la validez del modelo y sus limitaciones en relación con el objeto a modelar.

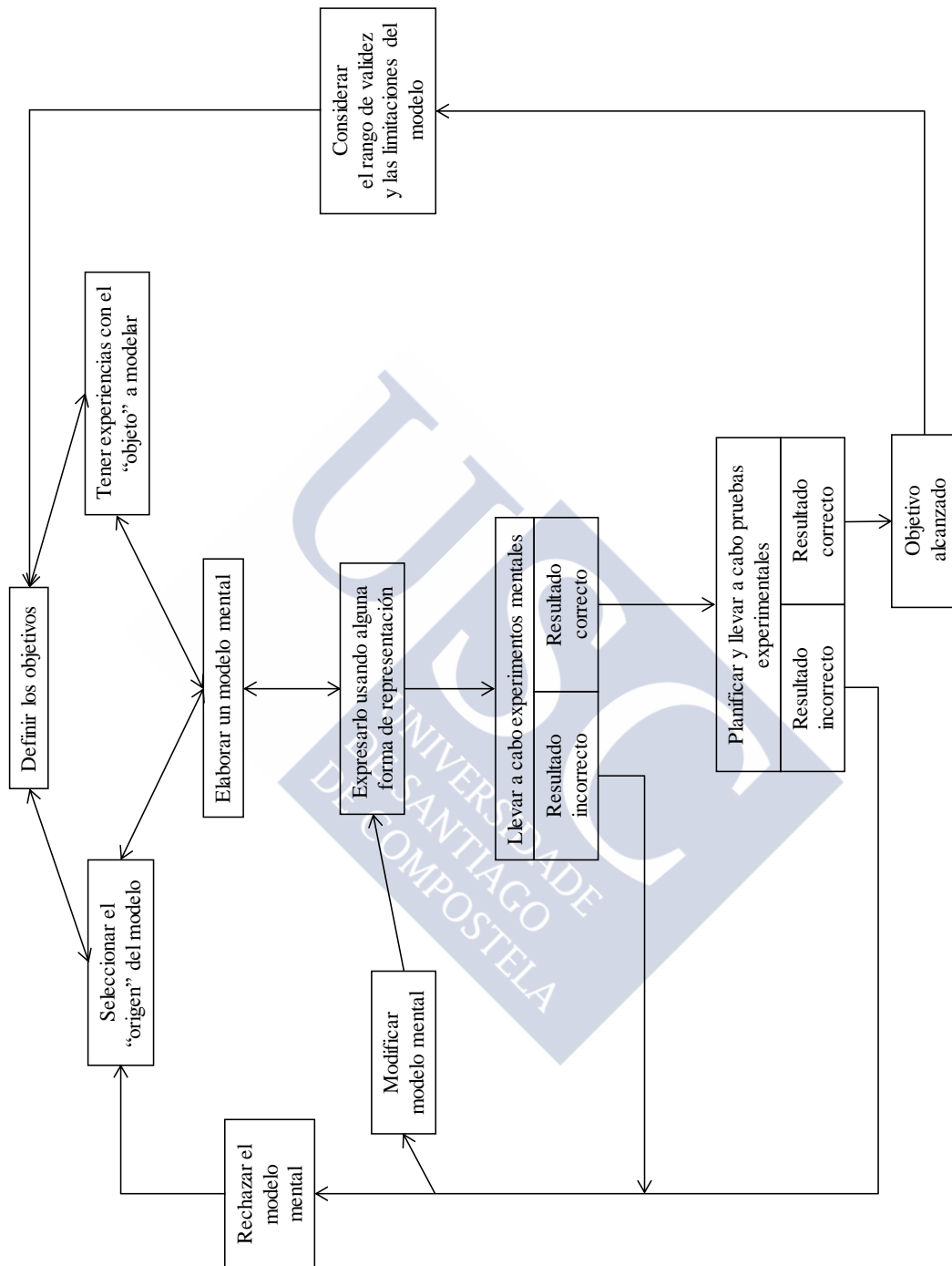


Figura 2.4: Diagrama para el proceso de construcción de modelos (Justi y Gilbert, 2002, tomado de Justi, 2006)

Schönborn y Anderson (2009), a partir de este esquema de Justi y Gilbert (2002) y utilizando un diagrama de Venn, representan un modelo compuesto por tres factores y cuatro intersecciones (figura 2.5). Según estos autores el factor de razonamiento (R) es una representación de los procesos cognitivos que emplea el estudiante al razonar sobre la representación externa utilizando su factor de conocimiento conceptual (C) para interpretar, modificar e incorporar al conocimiento existente, mientras que el factor de modo de representación (M) engloba la naturaleza de la representación externa. Estos autores sugieren que la interacción entre dichos factores afecta a la capacidad de los estudiantes para interpretar representaciones externas en bioquímica, lo que nosotros consideramos modelos curriculares (definidos por Gilbert, Boulter y Elmer, 2000). Así, en la intersección del factor razonamiento con el factor conceptual (C-R) se producen procesos cognitivos en los que el estudiante, activamente, selecciona, recupera, ajusta o añade nuevos conocimientos. En la intersección del factor razonamiento con el factor modo de representación (R-M) estarían incluidas las habilidades del estudiante para organizar, mentalmente, y razonar las características distintivas de una representación externa. La intersección del factor conocimiento conceptual con el factor modo de representación (C-M) incluye el significado del simbolismo empleado en las representaciones externas. Por último, la intersección de los tres factores (C-R-M) representa la capacidad del estudiante para todos los factores del modelo, es decir, el conocimiento conceptual científico y las habilidades de razonamiento para interpretar correctamente o aprender a partir de una representación externa en ciencias.

Si en este proceso el conocimiento construido por el estudiante incluye interpretaciones erróneas del modelo, pueden surgir ideas erróneas/alternativas (Linenberger y Bretz, 2012).

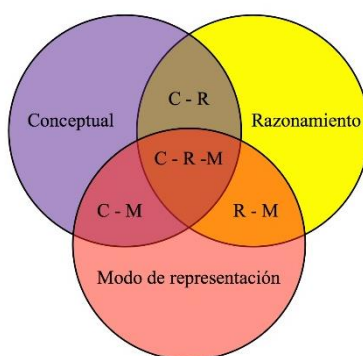


Figura 2.5: Esquema de Venn que representa un modelo de factores acerca de la capacidad de los estudiantes para interpretar modelos en bioquímica (Adaptado de Schönborn y Anderson, 2009).

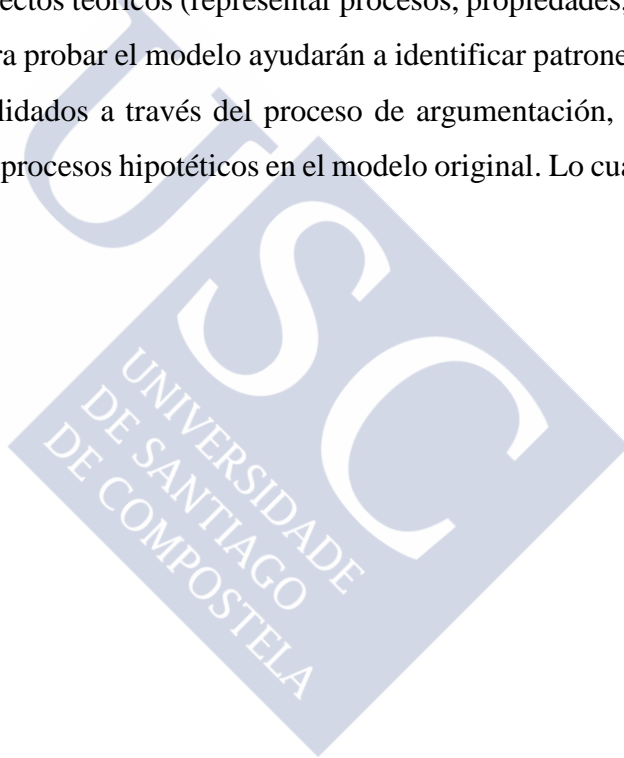
Diferentes autores (Duggan y Gott, 1995; Justi, 2006; Nersessian y Oliva, 2007; Schönborn y Bögeholz, 2009) consideran que las actividades investigativas, como la resolución de problemas ayudan a descubrir los procesos de razonamiento de los estudiantes cuando expresan sus modelos mentales mediante representaciones, porque el uso de modelos contribuye a organizar el conocimiento en el proceso de resolución de problemas (Nersessian, 2002). En este proceso, la construcción y uso de modelos, fomenta un aprendizaje más participativo, ya que si lo elaboran en grupo, la discusión enriquece los respectivos modelos mentales y contribuye a su revisión. Pues, como indican Schwarz et al. (2009) aprender a pensar científicamente, es decir, trabajar con modelos científicos, lleva a desarrollar, evaluar y revisar modelos, explicaciones y teorías. Cuando los estudiantes se involucran en estas actividades, necesitan utilizar sus capacidades cognitivas para pensar, hacer y comunicar de forma coherente sus ideas (Merino e Izquierdo, 2011).

En definitiva, el proceso de modelización guía a los estudiantes a 1) involucrarse en el problema, 2) a desarrollar un modelo o una hipótesis causal del fenómeno y ponerlo a prueba mediante observaciones sistemáticas, 3) a la creación, evaluación y revisión de este modelo, 4) a establecer predicciones explicativas con el modelo y 5) a su aplicación en nuevas situaciones (Windschitl, Thompson y Braaten, 2008).

Considerando todo ello, nuestra propuesta didáctica defiende, igual que otros autores (Nersessian, 2002; Halloun, 2006; Justi, 2006; Caamaño, 2011a), que el proceso de construcción de modelos debe formar parte de la enseñanza de las ciencias “*al poner de manifiesto que el aprendizaje es un proceso gradual y no lineal de modificación de ideas*” (Justi, 2006, p. 182) y se debe practicar en el aula. Además, la construcción de modelos es una

herramienta importante para el aprendizaje significativo de la ciencia (Halloun, 2006; Moreira, Greca y Rodríguez, 2002) y un método clave para el cambio conceptual (Nersessian, 1999; Megalakaki y Tiberghien, 2011).

Por último, nuestra propuesta didáctica, está en consonancia con lo expuesto por Windschitl y Thompson (2006), al considerar que el uso de modelos teóricos es una forma de generar preguntas de investigación y el posterior uso de argumentos para vincular las pruebas con esos modelos. Estos autores proponen que, para vincular la ciencia real con la escolar, se deben aplicar determinadas características a dicha actividad. Para lo cual, la investigación debe tener algún aspecto del mundo natural y una representación del fenómeno, es decir, el modelo. Este modelo debe incluir algunos aspectos teóricos (representar procesos, propiedades, relaciones). Además, los datos obtenidos para probar el modelo ayudarán a identificar patrones del mundo observable, que deberán ser validados a través del proceso de argumentación, afirmando o refutando las hipótesis sobre los procesos hipotéticos en el modelo original. Lo cual se engloba en nuestra propuesta didáctica.



Capítulo 3. METODOLOGÍA

Este capítulo aborda la metodología que guía este estudio, la cual se basa en la investigación cualitativa, en concreto, en los estudios de caso. Elegimos este tipo de metodología porque nos permite dar respuesta a los objetivos de investigación, relacionados con los procesos de argumentación, indagación y modelización, del mismo modo que nos permite caracterizar los productos (argumentos, diseños experimentales y modelos) que elaboran los estudiantes durante su discurso en el laboratorio de ciencias.

Este capítulo se divide en cinco secciones. En la primera se describen la investigación cualitativa y los estudios de caso. En la segunda se comenta el análisis del discurso. En la tercera sección, se especifica el contexto, los participantes y la toma de datos de la investigación. A continuación, cuarta sección, se abordan las consideraciones éticas que se tuvieron en cuenta para realizar el estudio. Para finalizar, en la quinta sección, se especifica cómo se realizó el proceso de análisis, definiendo las herramientas de análisis utilizadas para dar respuesta a los objetivos y a las preguntas de investigación.

3.1. INVESTIGACIÓN CUALITATIVA: ESTUDIO DE CASO

El propósito de esta tesis es conocer el desempeño de los estudiantes mientras realizan la tarea, conocer sus destrezas de argumentación, indagación y modelización. Para ello, lo que nos interesa analizar en profundidad es cómo los estudiantes, trabajando en pequeño grupo, utilizan sus habilidades de argumentación, indagación y modelización para dar respuesta al problema planteado. Por ello, la metodología a emplear es de tipo cualitativo. Según Denzin y Lincoln (2000) este tipo de investigación consiste en *“una aproximación interpretativa y naturalista al mundo. Esto significa que los investigadores cualitativos estudian los fenómenos en sus contextos locales, intentando darle sentido o interpretarlos en función de*

los significados que las personas les dan” (p. 3). Nos decidimos por este tipo de metodología porque lo que pretendemos es interpretar las interacciones orales de los estudiantes en el contexto real de aula/laboratorio y sus producciones escritas.

En concreto, dentro de la metodología cualitativa esta investigación es un estudio de caso, que consiste en un estudio descriptivo e interpretativo (Pérez Serrano, 1994) en profundidad de una o varias unidades muestrales (Álvarez y San Fabián, 2012). Son estudios de hechos determinados, en los que se trata de comprender los procesos por los que se producen ciertos fenómenos (Martínez, 2006), es decir, la información obtenida permite al investigador comprender y reflejar los elementos de una situación a la que da significado (Walker, 1983).

Yin (2003) considera que un estudio de caso es: “una *investigación empírica sobre un fenómeno contemporáneo dentro de un contexto real, especialmente cuando los límites entre el fenómeno y el contexto no son evidentes*” (p. 13). Nuestro estudio consiste en analizar las destrezas científicas de los estudiantes mientras intentan resolver un problema a partir de su discurso verbal.

Los estudios de caso no permiten extrapolar los resultados a toda la población, por eso se dice que no son generalizables (Yacuzzi, 2005; Cohen, Manion y Morrison, 2007), ya que se estudia un solo caso o unos pocos en profundidad (Stake, 2005). En particular y siguiendo la nomenclatura de Stake (2005), nuestra investigación sería un *estudio de caso colectivo*, porque nuestro interés no radica en generalizar los resultados a toda la población, lo que pretendemos es tratar de conocer qué y cómo los grupos estudiados desempeñan los procesos de argumentación y modelización en la resolución del problema planteado.

Con el fin de validar nuestra investigación utilizamos la estrategia de la triangulación de las fuentes de datos, donde “*el esfuerzo por ver si aquello que observamos y de lo que informamos contiene el mismo significado cuando lo encontramos en otras circunstancias*” (Stake, 2005, p. 17). En nuestro caso, esta triangulación se realizó recolectando datos de tres fuentes: audiovisual (grabaciones en vídeo y grabaciones en audio), escrita (informes de los estudiantes) y notas de campo de la investigadora. Además, para reafirmar esta validez, tal como indica Stake (2005), otros investigadores (dos directores de tesis) contrastaron los análisis hasta lograr un acuerdo entre las tres partes.

3.2. ANÁLISIS DEL DISCURSO

Para conocer las destrezas de los estudiantes, se presta atención al discurso oral que éstos emplean, es decir, se realiza un análisis del discurso natural de los estudiantes mientras realizan una actividad de laboratorio. Gee y Handford (2012) definen el análisis del discurso como *“el estudio del lenguaje en uso. Es el estudio de los significados que les damos al lenguaje y a las acciones que realizamos cuando empleamos el lenguaje en contextos específicos”* (p. 1).

Teniendo en cuenta esta definición, el discurso de los estudiantes se convierte en la clave del análisis, ya que a partir de las interacciones entre ellos podemos identificar los conocimientos y capacidades que tienen mientras resuelven el problema. Siguiendo a Lemke (1997) lo que les pedimos a los estudiantes mientras desarrollan este tipo de tareas es que *“hablen ciencias”*, lo cual para este autor significa hacer ciencia por medio del lenguaje, es decir, *“observar, describir, comparar, clasificar, analizar, discutir, formular hipótesis, teorizar, cuestionar, desafiar, argumentar, diseñar experimentos, seguir procedimientos, juzgar, evaluar, decidir, concluir, generalizar, presentar informes, escribir, dar conferencias, y enseñar en y por el lenguaje de la ciencia”* (p. ix).

Para fomentar el *“hablar ciencias”* decidimos disponer a los estudiantes en pequeños grupos, lo que favorece que intercambien ideas entre iguales, y nos posibilita el acceso a sus razonamientos (Kelly, Regev y Prothero, 2007). Estas comunidades de aprendizaje están caracterizadas porque todo el grupo debe estar involucrado en un esfuerzo colectivo de entendimiento (Bielaczyc y Collins, 1999). Estos mismos autores explican que todos los miembros de la comunidad comparten esfuerzos individuales para alcanzar una visión más profunda del objeto de estudio, al mismo tiempo que son protagonistas de su aprendizaje, lo que nos permite implicar a los estudiantes en la tarea. Como indica Kelly (2008) *“la enseñanza y el aprendizaje se producen a través de procesos contruidos a través del discurso y la interacción”* (p. 443).

El procedimiento para el análisis del discurso se basa en el estudio de las intervenciones de los estudiantes (vídeo y audio), que posteriormente se transcribieron y de los informes escritos, este proceso se detalla en el apartado 3.6.

3.3. CONTEXTO, PARTICIPANTES Y TOMA DE DATOS

El estudio fue realizado en el curso escolar 2008-09, estando vigente la Ley Orgánica 2/2006, del 3 de mayo, de Educación (LOE, MEC, 2006), en un instituto de enseñanza secundaria de una ciudad de Galicia.

De las cuatro aulas de 4º de ESO (15-16 años) colaboradoras en el estudio, se prestaron a participar 41 estudiantes, de los cuales 25 son chicas y 16 son chicos, que cursan la asignatura de Biología y Geología y su profesora. Estos estudiantes se dividieron en 10 grupos de 3, 4 ó 5 miembros cada uno. La organización de los grupos de estudiantes fue de forma natural, fueron ellos los que se agruparon para la realización de la actividad. En ningún momento nos planteamos formar nosotros los grupos de trabajo.

La toma de datos se llevó a cabo durante dos sesiones de 50 minutos cada una, que se quedaban en aproximadamente cuarenta minutos cada una en el aula-laboratorio. En la primera sesión se realizó una breve explicación sobre el funcionamiento y propiedades de los enzimas y del modelo escolar del proceso enzimático, y a continuación se llevó a cabo la primera parte de la actividad (Act.1 “*Acción catalítica dos enzimas*”). En la segunda sesión realizó la segunda parte de la tarea (Act.2 “*Por que parou a reacción co fígado?*” y Act.3 “*Por que parou a reacción coa pataca?*”). A mayores, se les proporcionó una hoja de ayuda que recoge información sobre las características de los enzimas, sus propiedades y los factores que les afectan, la cual tuvieron presente en toda la sesión.

La recogida de datos se efectuó a partir de grabaciones en vídeo y audio, las producciones escritas de cada grupo y las anotaciones de campo de la investigadora. En la recogida de datos cada grupo tenía su cámara de vídeo y su grabadora de audio, las cuales estaban encendidas durante toda la sesión. El vídeo es necesario para identificar a los participantes, observar sus gestos y la manipulación del material proporcionado, así como visualizar las interacciones que se producen entre los integrantes de cada grupo (Plowman y Stephen, 2008), por lo que ayudan a interpretar mejor las transcripciones, realizadas a partir de la grabación en audio, respetando el lenguaje utilizado por los estudiantes. La tercera forma de recogida de datos son las producciones escritas (informes), éstas deben estar consensuadas por los estudiantes, por lo que deben discutir entre ellos co-construyendo significados. Con relación a las anotaciones de campo de la investigadora, éstas recogen la ubicación de las cámaras de vídeo y las grabadoras

de audio, la disposición de los estudiantes en la mesa de trabajo y las incidencias que se produjeron durante las sesiones.

Por último, indicar que el papel de la investigadora era de observadora participante, preparando el material necesario para la actividad, con la ayuda de la profesora y aclarando las dudas de los estudiantes sin llegar a resolver el problema.

3.4. CONSIDERACIONES ÉTICAS

Nuestro estudio es una investigación en la que están implicados seres humanos, por lo que debemos tener en cuenta una serie de consideraciones éticas con el fin de proteger la privacidad de los participantes en la investigación.

Cohen, Manion y Morrison (2007) indican que en cada etapa de la investigación pueden surgir problemas éticos asociados a la naturaleza del proyecto de investigación, al contexto de la investigación, a los procedimientos que deben adoptarse, a los métodos de recolección de datos, a la naturaleza de los participantes, al tipo de datos recogidos y, a lo que se hace con esos datos.

Para proteger a los participantes durante todo el proceso de investigación tuvimos en cuenta las siguientes consideraciones:

Consentimiento informado: al ser los participantes menores de edad, se solicitó autorización tanto al Director del IES para la toma de datos de la investigación, como a los padres y a las madres de los estudiantes que participan en el estudio. Para ello se redactaron cartas en las que se les pedía permiso para grabar a los menores, asegurando en todo momento la protección de los datos de los participantes, al mismo tiempo que se les informaba del tipo de investigación que se realizaría en el aula.

Confidencialidad: para garantizar la confidencialidad evitamos incluir los datos del centro y de los participantes que permitan identificarlos.

Anonimato: para conservarlo, tanto de los alumnos como del docente que colaboran en nuestro estudio se utilizaron pseudónimos. En el caso de los estudiantes, el pseudónimo comenzaba por la letra, en mayúsculas, del grupo al que pertenecían durante la realización de las actividades, así, por ejemplo, todos los miembros del pequeño grupo A, comienzan por la letra

A, siempre conservando el género. En el caso de la profesora que nos ayudó para la realización de nuestro estudio, se designa como tal en las transcripciones.

3.5. ANÁLISIS DE DATOS

Para obtener los datos del estudio, los 10 grupos grabados (A al J) fueron analizados superficialmente de los cuales se seleccionaron 5 grupos (A-B-C-D-E) para su análisis en detalle. Los criterios de eliminación de los grupos que no fueron analizados son: 1) la invalidación por las elevadas intervenciones de la investigadora para intentar que los estudiantes hablaran entre ellos, sin obtener resultado, y 2) que el análisis de esos grupos no aportaba nada nuevo a la investigación, sobre lo obtenido con los 5 grupos iniciales, al estudio.

Las transcripciones, a partir de las grabaciones de audio, se han realizado de la forma más literal posible, intentando incluir todos los matices del lenguaje oral. Por lo que nos hemos apoyado en las grabaciones de vídeo para comprobar qué estudiante habla en cada momento, así como sus acciones mientras elaboran su discurso y manipulan el material aportado para la realización de la actividad, uniendo el lenguaje verbal y gestual (Gibbs, 2007). De esta forma, conseguimos que dichas transcripciones sean la representación, más fidedigna posible, de las actuaciones de los estudiantes. Estas transcripciones han sido realizadas conservando el lenguaje utilizado por los estudiantes, entonaciones, expresiones e idioma (gallego y castellano) utilizado en cada enunciado. Especificando el participante, el turno, la transcripción en sí y el tiempo (minuto y segundos en el que intervienen los participantes). La notación utilizada en las transcripciones es similar a la utilizada por Ogborn, Kress, Martins y McGillicuddy (1998), se recoge en el anexo III. A continuación, se indican las notaciones más usuales: [...] representa una pausa en el discurso, (...) se utiliza para una omisión en la grabación, (texto) indica una aclaración del discurso, [texto] describe una actividad comunicativa de naturaleza no lingüística.

Las transcripciones completas se recogen en el CD que acompaña a la tesis (anexo IV). Estas transcripciones fueron divididas en fragmentos para la realización del análisis. La primera división, se corresponde con los turnos de los estudiantes en los cuales están realizando la misma acción, a lo que Gee (2005) denomina episodios, por ejemplo, cuando construyen un argumento para explicar alguna situación referente a la realización de la tarea. Esta primera división la vamos fragmentando en secuencias más pequeñas para analizarlas con mayor

detalle, tomando como unidad de análisis el turno (t.), asignando un número que corresponde a la intervención del participante que habla en ese momento. Además, en algunas ocasiones necesitamos fragmentar estos turnos en unidades menores, en el caso de que en un mismo turno realicen acciones diferentes, que requieran ser estudiadas en profundidad. Para indicar estas unidades menores nos referiremos a ellas añadiendo, después del número de turno, la posición que ocupan en dicho turno “.1, .2, .3, ...”, etc (por ejemplo: t.78.1).

La información obtenida de las transcripciones se complementa con la información contenida en los informes escritos de cada grupo (anexo V).

En la siguiente tabla 3.1 relacionamos los objetivos de investigación que conducen este estudio, ya señalados en el capítulo 1, con el objeto y la herramienta de análisis empleada, que se describen en los siguientes subapartados.

Tabla 3.1: Metodología de análisis para cada objetivo de investigación.

Objetivo de investigación	Objeto de análisis	Herramienta de análisis
Caracterizar el proceso de argumentación de los estudiantes mientras resuelven el problema planteado	Proceso de argumentación	- TAP (Toulmin, 1958) - Líneas argumentativas - Rúbrica de calidad de la argumentación
Caracterizar el proceso de indagación que siguen los estudiantes mientras resuelven el problema planteado	Proceso de indagación	- Etapas de investigación (Proyecto APU, Assesment of Performance Unit, 1984) - Rúbrica de calidad de la indagación
Caracterizar el proceso de modelización que siguen los estudiantes durante la resolución del problema	Proceso de modelización	- Diagrama para el modelo de modelización (MMD) (Justi y Gilbert, 2002) - Criterios de progreso en el uso del modelo

3.5.1. Análisis de la argumentación

En el estudio de la argumentación de cada grupo se emplean tres herramientas de análisis, que se detallan a continuación:

- 1) Esquema de argumentación (TAP) tomado de Toulmin (1958).
- 2) Líneas argumentativas, basado en las líneas de razonamiento de Kelly, Regev y Prothero (2007).
- 3) Rúbrica de calidad de la argumentación

El esquema de argumentación de Toulmin (1958) nos proporciona una herramienta de análisis de la argumentación, es decir, nos permite analizar cómo los integrantes del grupo co-construyen los argumentos. La elaboración de los esquemas ha sido realizada por la investigadora, puesto que el propósito de la actividad es que los estudiantes argumenten, pero no se les enseña de forma explícita a emplear el TAP ni a representar con él sus argumentos.

Como ya se ha comentado, este esquema (figura 2.1) presenta como ventaja importante el poder visualizar de forma rápida la estructura del argumento, así como comprobar si dicho argumento está completo o le falta alguno de los componentes. La estructura y complejidad de los argumentos fue evaluada basándonos en:

- la coherencia de las justificaciones que relacionan los datos con sus conclusiones,
- el uso de calificadores modales (grado de incertidumbre de la justificación), en términos de Toulmin (1958) estos calificadores modales indican la fuerza que se confiere a la justificación,
- el uso de condiciones de excepción (circunstancias excepcionales por las que se rechaza o descarta la conclusión justificada),
- el uso de refutaciones (críticas a la validez de la hipótesis o conclusión, o incluso a la justificación) (Kuhn, 1991 y 2005),
- el uso de subargumentos (cuando el argumento principal contiene un argumento secundario o subsecuente (Kelly y Takao, 2002)), y
- el uso de contraargumentos (construido con los mismos datos y pruebas, supone una teoría [conclusión o hipótesis] alternativa a la propuesta en primer lugar) (Kuhn, 1991 y 2005).

Para el análisis de los argumentos, se analizaron con detalle las intervenciones de los estudiantes, teniendo siempre en cuenta su intencionalidad, de modo que se identificaran convenientemente los componentes que constituyen el argumento hasta lograr un análisis satisfactorio. Para ello se tuvieron en cuenta los aspectos mencionados por Kelly, Druker y Chen (1998), como el contexto en el que los estudiantes están elaborando el argumento, puesto que, dependiendo del momento de la conversación, las palabras que utilizan pueden hacernos dudar sobre si las usan como conclusión o como prueba, es decir, pueden expresarlas de forma ambigua. Por eso, durante todo el proceso de análisis necesitamos acceder continuamente a las grabaciones de vídeo para unir la comunicación verbal y no verbal, como gestos e indicaciones que hace, cada miembro del grupo mientras elabora su discurso, para que nos ayuden a distinguir si apelan a un dato, una justificación o una conclusión.

La segunda herramienta, empleada para el análisis del proceso de argumentación, la denominamos *líneas argumentativas* por analogía con las ideas de Kelly, Regev y Prothero (2007) de las líneas de razonamiento para el análisis de la argumentación escrita. Entendemos por líneas argumentativas una sucesión de fases en el uso de la información que siguen los estudiantes, desde los datos hasta las conclusiones finales a las que llegan usando pruebas. De modo que, siguiendo las líneas argumentativas, se examina cómo los estudiantes interpretan los datos, integrándolos en sus justificaciones como pruebas. Si son inmediatas, se corresponden con pruebas que denominamos de 1^{er} nivel, y si estas pruebas de 1^{er} nivel convergen de forma que constituyen pruebas elaboradas, serán consideradas pruebas de 2^o nivel. Las pruebas deben apoyar a las conclusiones que, debido a la naturaleza del problema que se les plantea, denominamos conclusiones de 1^{er} nivel y corresponden a las hipótesis que formulan para dar respuesta al problema. La siguiente fase consiste en realizar experimentos “mentales”, es decir, planificar experimentos para contrastar dichas hipótesis, llegando así a la conclusión de 2^o nivel, fase en la que deben aceptar o rechazar la hipótesis. Esta sucesión de fases se muestra en la figura 3.1.

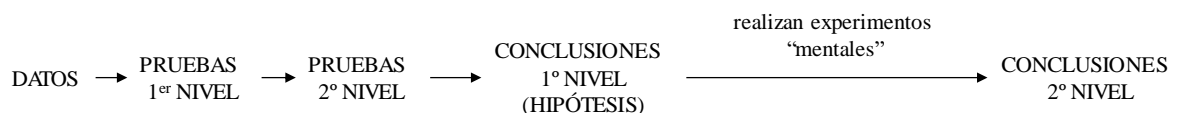


Figura 3.1: Sucesión ideal de fases de las líneas argumentativas

En la propuesta didáctica, que se comenta en el siguiente capítulo, se diferencian dos tipos de pruebas que los estudiantes pueden emplear para justificar sus conclusiones, al integrar los datos en sus justificaciones:

1. Empíricas, proceden de la observación de los experimentos realizados por ellos mismos. Corresponderían a los datos de *primera mano* según Hug y McNeill (2008)
2. Teóricas, cuando los estudiantes emplean sus conocimientos teóricos o la información de la hoja de ayuda, correspondiendo esta hoja de ayuda con los datos de *segunda mano* siguiendo con estos autores.

Para analizar la calidad de los argumentos se tienen en cuenta las aportaciones de los estudios sobre la calidad de argumentación comentados en el marco teórico. De este modo, los criterios para determinar la calidad de los argumentos de los estudiantes son dos:

- a) El uso de *pruebas apropiadas*, es decir, si apelan a algún hecho o principio científico (McNeill y Krajcik, 2008) coherente con el enunciado del problema planteado, esto es, si son pruebas que se relacionan con la causa de la detención de las reacciones. Para ello se tiene en cuenta la resolución del problema llevada a cabo por la investigadora, o lo que es lo mismo, el referencial desarrollado a tal efecto (detallado en el apartado 4.6). Las pruebas serán no apropiadas si justifican empleando contenidos científicos de forma errónea, o si el contenido científico que contempla no está relacionado con las causas por las que se detienen las reacciones.
- b) La estructura del argumento puede ser: *sencilla*, cuando están formados por los tres elementos principales (datos, justificaciones y conclusión) o *compleja*, cuando además de estos tres elementos principales, utilizan otros como respaldos, condiciones de excepción, refutación, etc.

Considerando ambos criterios se elaboró la rúbrica que se muestra en la tabla 3.2, en la que se establecen 3 niveles de calidad de los argumentos: baja, que corresponde a dos combinaciones: argumentos con estructura compleja y pruebas no apropiadas o bien estructura sencilla y pruebas no apropiadas; media, argumentos con estructura sencilla y pruebas apropiadas; y alta, argumentos con estructura compleja y pruebas apropiadas.

En cuanto a la calidad de las líneas argumentativas, va acompañada del uso de pruebas apropiadas, pues si las pruebas que emplean en los argumentos justifican la causa de la

detención de las reacciones, esto es, son apropiadas, derivarán en conclusiones acordes con el enunciado del problema, de modo que consideraremos la línea argumentativa *adecuada*. En cambio, si las pruebas no son apropiadas la línea argumentativa será *no adecuada* para la solución del problema.

Tabla 3.2: Rúbrica de la calidad de la argumentación de los estudiantes

Nivel de calidad de argumentación	Criterios
Alta	Estructura compleja con pruebas apropiadas
Media	Estructura sencilla con pruebas apropiadas
Baja	Estructura compleja con pruebas no apropiadas
	Estructura sencilla con pruebas no apropiadas

3.5.2. Análisis de indagación

Para analizar el proceso de indagación se emplea, como herramienta de análisis, una modificación del modelo de las etapas de investigación del proyecto APU (Assesment of Performance Unit, 1984, tomado de Qualter et. al, 1990, y de Albaladejo y Caamaño, 1992). Estas etapas nos sirven en nuestro propósito de evaluar los procedimientos experimentales que siguen los estudiantes para la resolver del problema (figura 3.2).

A continuación, se describen las etapas de la investigación según este proyecto, basándonos en lo indicado por Caamaño (2003, 2011b), e indicando su correspondencia con nuestra actividad:

Percepción del problema, en esta fase los estudiantes deben darse cuenta de cuál es el problema que deben resolver. En nuestro caso, ser conscientes de que deben realizar experimentos para comprobar las causas por las que se detienen las reacciones.

Reformulación, en la cual los estudiantes deben formular sus hipótesis. En nuestra propuesta didáctica, deberían ser capaces de formular hipótesis rivales, para comprobar cuál de los componentes, enzima o sustrato, implicados en las reacciones producidas en la Act.1 “*Acción catalítica de los enzimas*” ocasiona la detención de las reacciones.

Una característica que nos parece relevante en este análisis es si las hipótesis son pertinentes o no. Así, consideraremos la hipótesis pertinente siempre que aborde el problema planteado (por qué se detienen las reacciones), mientras que si se centran en otro problema (por ejemplo, la velocidad de las reacciones) será considerado como no pertinente. Esto está relacionado con la adecuación de las líneas argumentativas, es decir, si la conclusión de 1^{er} nivel o hipótesis es pertinente cabe esperar que esté englobada en una línea argumentativa adecuada.

Planteamiento del experimento, es la fase en la que los estudiantes deben diseñar los experimentos que consideren oportunos para contrastar sus hipótesis. Para ello deben identificar las variables que son significativas para sus experimentos y controlarlas a hora de realizar dichos experimentos. Además, también deben establecer los criterios de medida de los resultados, es decir, la toma o recogida de datos.

En nuestro estudio, cuando hablamos de identificación de variables, nos referimos a la identificación por parte de los estudiantes de dos variables independientes en concreto: a) la actividad frente a la inactividad del enzima (consideraremos válido que los estudiantes hagan referencia a esta variable indicando “se acabó el enzima”) y b) la presencia frente a la ausencia de sustrato (“se acabó el sustrato”), ya que no se exige que controlen otras variables, como temperatura y pH que puedan alterar los resultados. En la hoja de ayuda, como información, sí se incluyen las variables que afectan a las reacciones enzimáticas. En cuanto a la variable dependiente es la producción de reacción (identificable por burbujeo) que se produce al juntarse los reactivos implicados.

La toma de datos se realiza mediante observaciones de si se produce o no reacción. El criterio de medida sería: a) si se produce burbujeo, entonces hay reacción, b) si no se produce burbujeo, entonces no hay reacción y c) a mayor burbujeo, mayor velocidad de reacción.

Realización del experimento, en esta fase deben seguir sus diseños experimentales y proceder a la toma de los datos previstos.

La denominación de los experimentos que realizan se corresponde con la denominación de la hipótesis que pretenden contrastar, por ejemplo: el Exp.A₃ se corresponde con la Hip.A₃.

Registro de los datos, en ningún momento se les pide explícitamente que registren los datos en tablas o que realicen gráficos, aunque deben realizar algún tipo de anotación en el informe

que les pedimos que elaboren para emplear estos datos como pruebas en sus argumentos tanto orales como escritos.

Interpretación de datos y establecimiento de conclusiones, esta fase implica la interpretación de los datos obtenidos. Cuando los resultados que obtienen son los esperados aceptarán su hipótesis, sin embargo, cuando los resultados obtenidos no son los esperados, cabe esperar que rechacen su hipótesis (o conclusión de 1^{er} nivel), aunque como ya se ha comentado, los estudiantes al obtener datos que no son acordes con su hipótesis inicial podrían rechazarlos (Chinn y Brewer, 1998).

Evaluación, en esta fase, a la vista de los resultados obtenidos y las conclusiones a las que llegan, deben evaluar si sus diseños y experimentos son suficientes para resolver el problema, o bien, si son insuficientes, deben realizar una nueva investigación. Es decir, deben valorar si sus experimentos permiten explicar la detención de las reacciones.

Resolución, en el esquema original del proyecto APU se habla de solución, lo cual se ha adaptado para nuestro análisis de indagación pues hablamos de resolver el problema y no de la solución del mismo, porque consideramos que el término solución implica llegar a la “verdadera/única” solución del problema. Sin embargo, en la actividad propuesta los estudiantes pueden llegar a obtener varias soluciones aceptables de ahí que se utilice el término resolución del problema.

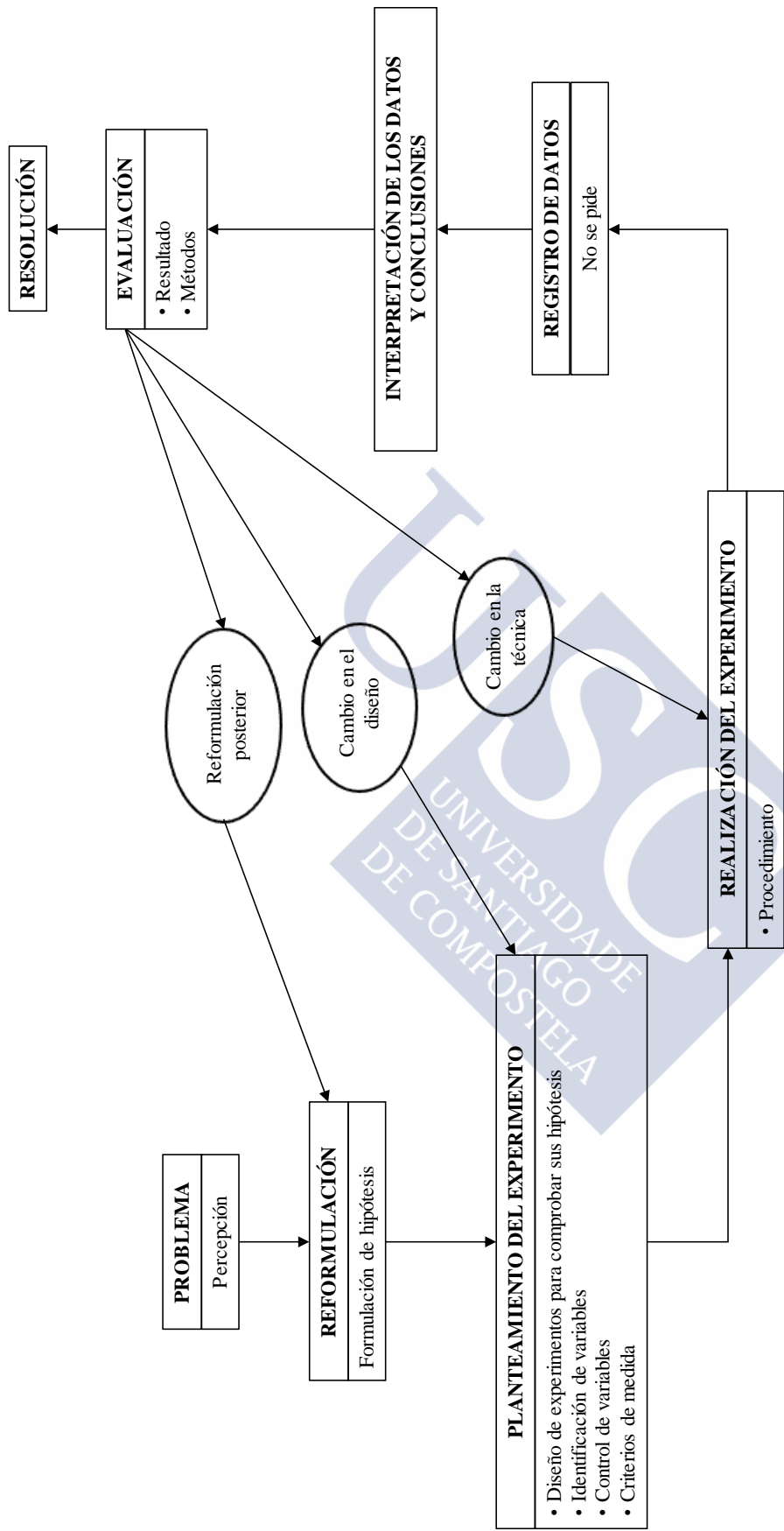


Figura 3.2: Proceso de indagación referencial para la resolución del problemas (APU, 1984, tomado de Caamaño, 2011b)

Para analizar la calidad del proceso de indagación llevado a cabo por los estudiantes, lo comparamos con el protocolo referencial de resolución (que se comenta en el apartado 4.6). El criterio para establecer la calidad del proceso se basa en si formulan una hipótesis pertinente o no para la resolución del problema y si diseñan un experimento coherente o no con la hipótesis formulada según las preguntas de investigación planteadas. Así, consideramos tres categorías (tabla 3.3): a) Nivel bajo, la hipótesis que formulan no es pertinente o no formulan hipótesis; b) nivel medio, formulan una hipótesis pertinente, pero plantean un experimento no coherente con la hipótesis; y c) nivel alto, la hipótesis es pertinente y plantean un experimento coherente con la hipótesis.

Tabla 3.3: Rúbrica para el análisis de la calidad de la indagación de los estudiantes

Nivel de calidad de indagación	Criterios
Alta	Hipótesis pertinente Planificación de un experimento coherente con la hipótesis
Media	Hipótesis pertinente Planificación de un experimento no coherente con la hipótesis
Baja	Hipótesis no pertinente No formulan hipótesis

3.5.3. Análisis de la modelización

Para analizar el proceso de modelización utilizamos como herramienta de análisis el diagrama para el modelo de modelización (MMD) creado por Justi y Gilbert (2002). Este esquema (figura 2.3) está dividido en fases unidas por flechas bidireccionales que indican la gran interactividad entre las partes que conforman el proceso de modelización.

Puesto que el MMD está concebido para la modelización individual hubo que adaptarlo a la modelización en grupos, de forma que se pudiese reconstruir cómo tuvo lugar este proceso en cada grupo analizado. Para ello tuvimos en cuenta las modificaciones incluidas en el MMD llevadas a cabo por Blanco Anaya, Justi y Díaz de Bustamante (en prensa). Además se

incluyeron características de cada etapa correspondientes a nuestra propuesta didáctica. Así, resulta el diagrama adaptado que se muestra en la figura 3.3. El diagrama que se presenta en la figura 3.3 es el referencial el cual será adaptado para cada grupo, es decir, los diagramas que se presentan en el apartado de resultados representan las conexiones entre las etapas del proceso que tuvieron lugar dentro cada grupo.

La relación entre las etapas propuestas por Justi y Gilbert (2002) y el proceso de modelización que requiere nuestra propuesta didáctica se resumen en la tabla 3.4. Así, el proceso comienza con *definir los objetivos*, es decir, conocer el motivo por el que se construye el modelo. En nuestro caso, los estudiantes han entendido que deben elaborar un modelo que les permita explicar las causas por las que se detienen las reacciones enzimáticas (agua oxigenada y hígado; agua oxigenada y patata). En concreto, deben entender que tienen que elaborar un modelo de interacción enzima-sustrato.

Una vez definidos los objetivos, a partir de a) la *experiencia que tienen con el ‘objeto’ a modelar*, que parte de la realización de la Act.1 “Acción catalítica dos enzimas” y b) la *selección del ‘origen’ del modelo*, que viene de la mano de la observación de la detención de las reacciones ocurridas en la Act.1 y de la interpretación de la hoja de ayuda sobre los enzimas, se espera de ellos que *elaboren un modelo mental*, que al ser intrínseco al individuo no podemos acceder a él, por eso sólo podemos interpretar sus modelos cuando los expresan en alguna forma de representación. En la tarea propuesta, la forma de representarlos es verbal, gestual y gráfico (icónico), lo que conocemos como *modelo expresado* individual. Por tanto, la siguiente etapa en nuestro diagrama será la elaboración de un *modelo expresado/consensuado* del grupo, el cual engloba el modelo expresado de cada integrante, unas veces será el modelo expresado individual de un componente del grupo aceptado por el resto del grupo y otras veces será elaborado por los componentes del grupo (Mendonça y Justi, 2011).

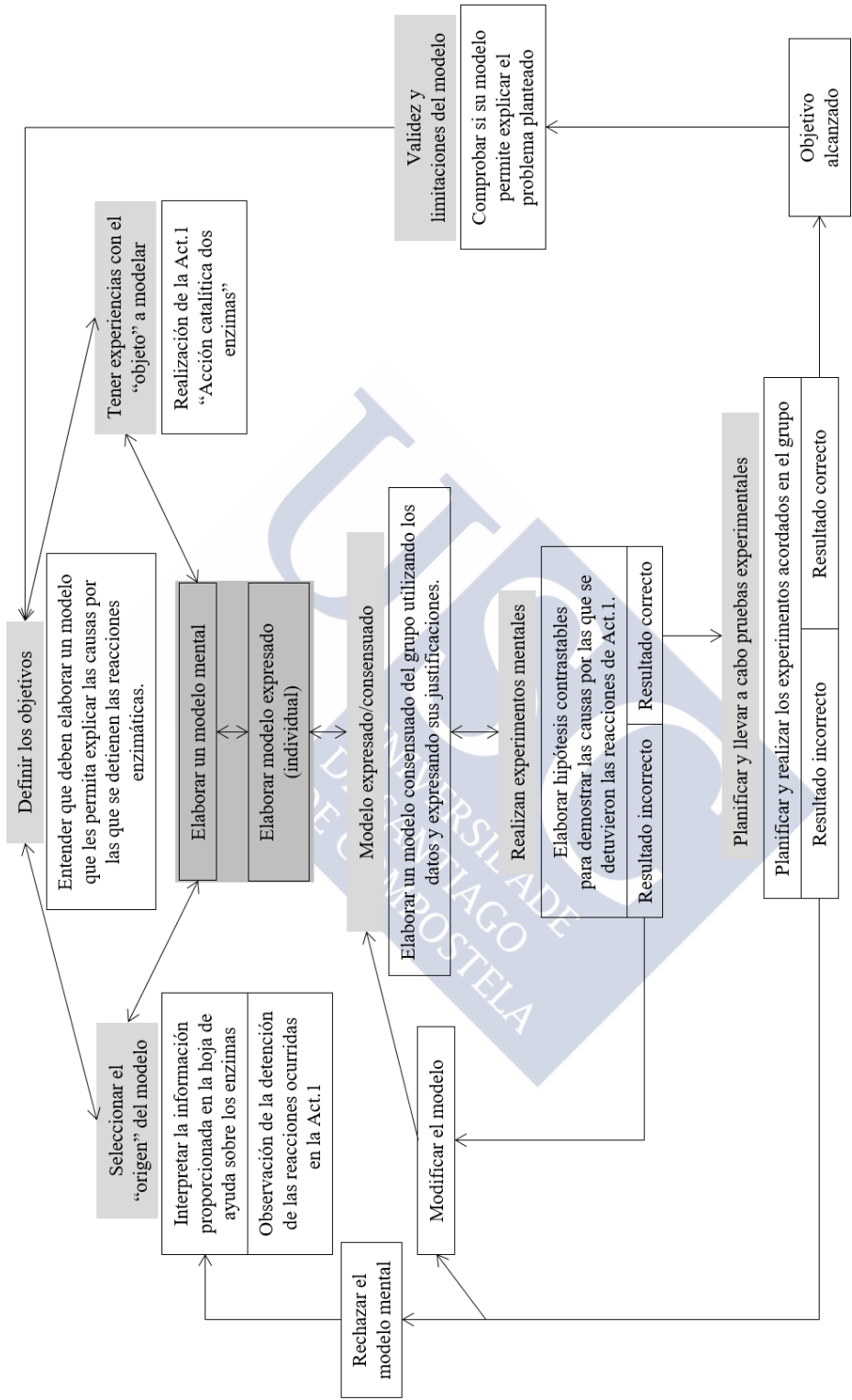


Figura 3.3: Proceso de modelización referencial para nuestra propuesta didáctica (adaptado de Justi y Gilbert, 2002)

De esta forma, el siguiente paso consistirá en *realizar experimentos mentales* que, con relación a la tarea, consistirán en elaborar hipótesis contrastables para demostrar las causas por las que se detuvieron las reacciones de la Act.1. Estos experimentos mentales los podemos interpretar siempre y cuando los expresen de alguna forma. Así, cuando consideran que obtienen un resultado incorrecto de estos experimentos mentales, deberán modificar su modelo (o hipótesis). En el caso de considerar que los resultados de sus experimentos mentales sean correctos, pasarán a la siguiente etapa del proceso, *planificar y llevar a cabo pruebas experimentales*, en la que deben planificar y realizar los experimentos acordados por el grupo, interpretar los resultados obtenidos y llegar a conclusiones. Entonces, si interpretan que los resultados son incorrectos, rechazarán o modificarán el modelo para elaborar uno nuevo, cerrando uno de los ciclos del proceso de revisión de modelos, hasta que consideren un resultado correcto. Así, podrán considerar su *objetivo alcanzado*, para el cual deberán *considerar el rango de validez y las limitaciones del modelo*, esto es, comprobar si su modelo permite explicar el problema planteado o si con él se logró el objetivo para el cual fue elaborado.



Tabla 3.4: Correspondencia entre las etapas del MMD, propuesto por Justi y Gilbert (2002), con el proceso de modelización requerido por las actividades: Act.2 *¿Por qué paró la reacción con el hígado?* y Act.3 *¿Por qué paró la reacción con la patata?*

Pasos		Definición del proceso (Justi y Gilbert, 2002)	Correspondencia con las actividades 2 y 3
Definir los objetivos		Establecer el objetivo por el que se construye el modelo	- Entender que deben elaborar un modelo que les permita explicar las causas por las que se detienen las reacciones enzimáticas.
Tener experiencias con el “objeto” a modelar		Experiencias que la persona ya tiene o que pasa a tener con el objeto a modelar.	- Realización de la Act.1 en la primera sesión de la propuesta didáctica.
Seleccionar el “origen” del modelo		Selección de aspectos de la realidad que se usarán para describir el objeto a modelar, por ejemplo, analogías.	- Interpretar la información proporcionada en la hoja de ayuda sobre los enzimas. - Observación de la detención de las reacciones ocurridas en la Act.1.
Elaborar un modelo mental individual		A partir de los pasos anteriores, el individuo elabora un modelo mental inicial	- Elaborar el modelo mental de la interacción enzima-sustrato.
Expresar usando alguna de las formas de representación	Elaborar un modelo expresado individual	Decidir la forma de representación individual más adecuada.	- Expresar de alguna forma el modelo mental individual
	Modelo expresado/consensuado	Decidir la forma de representación más adecuada. La cual se relacionará de forma cíclica con el modelo mental siempre que el modelo expresado requiera hacer modificaciones en el modelo mental.	- Elaborar un modelo consensuado del grupo utilizando los datos, expresando sus justificaciones y sus conclusiones. - Reelaborar sus modelos mentales si necesitan modificarlos.
Llevar a cabo experimentos mentales		Estos experimentos consisten en plantearse la pregunta ¿qué pasaría si? Y se idean con la intención de comprobar o convencer a otros de la validez de una hipótesis.	-Elaborar hipótesis contrastables para demostrar las causas por las que se detuvieron las reacciones de Act.1. Ej.: “Si se acaba el enzima, entonces al añadirle más agua oxigenada no habrá reacción”
Planificar y llevar a cabo pruebas experimentales		Los experimentos son actividades prácticas, seguidas por la recogida y análisis de los datos.	- Planificar y realizar los experimentos acordados en el grupo. - Interpretar los resultados. - Llegar a conclusiones.
Considerar el rango de validez y las limitaciones del modelo		El modelo pudo ser elaborado con éxito o pudo ser fallido (requiere o bien modificar el modelo mental o sino rechazar el modelo mental y regresar al comienzo del proceso de modelización).	- Comprobar en qué medida su modelo permite explicar el problema planteado.

Para dar respuesta a la 6^a pregunta de investigación se atiende a en qué medida el modelo elaborado por los estudiantes permite explicar la detención de las reacciones. Para ello, el criterio consiste en establecer qué elementos del modelo referencial son utilizados correctamente en el modelo de cada grupo y si su uso permite explicar la detención de las reacciones.



Capítulo 4. DISEÑO DE LA ACTIVIDAD

En este capítulo se presentan la propuesta didáctica elaborada para la realización de esta investigación. En primer lugar, se expone una pequeña historia de los enzimas y su papel en la enseñanza; en segundo lugar, se hace una revisión de las dificultades en el aprendizaje de la interacción enzima-sustrato que se recogen en estudios previos; en tercer lugar, se hace un análisis de la situación de los contenidos sobre enzimas en el currículo educativo; en cuarto lugar, se presentan los principios que se tuvieron en cuenta para el diseño de la propuesta didáctica; en quinto lugar, se describe la propuesta; en sexto lugar, se detalla el referencial del procedimiento de resolución y, por último, se hace una categorización de las capacidades por parte del alumnado que requiere la actividad siguiendo la taxonomía de Shayer y Adey (1986).

4.1. PEQUEÑA HISTORIA DE LOS ENZIMAS Y SU ENSEÑANZA

Muchos investigadores estudiaron la fermentación, pero no fue hasta finales del siglo XIX que Buchner (1897) estableció el papel de los fermentos en las reacciones químicas en las células, realizando un experimento que consistió en triturar levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) con arena fina de cuarzo y, filtrando la mezcla, obtuvo un líquido con las mismas propiedades que la levadura sin triturar (Curtis, Barnes, Schnek y Massarini, 2008). Es decir, descubrió que el extracto de lisado de levadura era capaz de llevar a cabo la fermentación alcohólica. Se suponía que era imposible, puesto que las células estaban muertas, pero con este experimento demostró que los fermentos por sí mismos podían producir dicha reacción¹. Desde este momento se asumió que las reacciones químicas vitales eran producidas por fermentos, a los que denominó enzimas, término que deriva del griego, *en* (en) y *zyme* (levadura).

¹ http://www.biografiasyvidas.com/biografia/b/buchner_eduard.htm (consultado el 29/04/15)

En cuanto a la forma de acción, los enzimas son proteínas cuya función es catalizar, es decir, acelerar las reacciones químicas celulares en las que intervienen; actúan en pequeña cantidad y son específicos debido a la forma de su superficie, que hace que solo puedan acoplarse ciertos tipos de moléculas (Moore et al, 1968).

Para explicar los mecanismos de acción de los enzimas, Fischer (1894) propone el *Modelo de llave-cerradura* (figura 4.1a), y lo plantea como una analogía entre la interacción de los enzimas con su sustrato y el funcionamiento de una llave que se complementa específicamente con una única cerradura. Sugiere una interacción "rígida" entre ellos. En palabra de Fisher:

“Um ein Bild zu gebrauchen, will ich sagen, dass Enzym und Glucosid wie Schloss und Schlüssel zu einander passen müssen, um eine chemische Wirkung auf einander ausüben zu können” (Para usar una metáfora, quiero decir, tienen como cerradura y llave ajuste entre sí, que ejercen una acción química unos sobre otros) (p. 2992).

Años más tarde, Koshland (1958) propone otro modelo, *Modelo de ajuste-inducido* (figura 4.1b), en el cual sugiere una interacción más flexible y plástica entre el enzima y su sustrato. La idea es que a medida que se acerca el sustrato al enzima, induce en él cambios de manera que éste se va adaptando a la forma del sustrato, entonces se establece la relación específica que caracteriza a esta interacción.

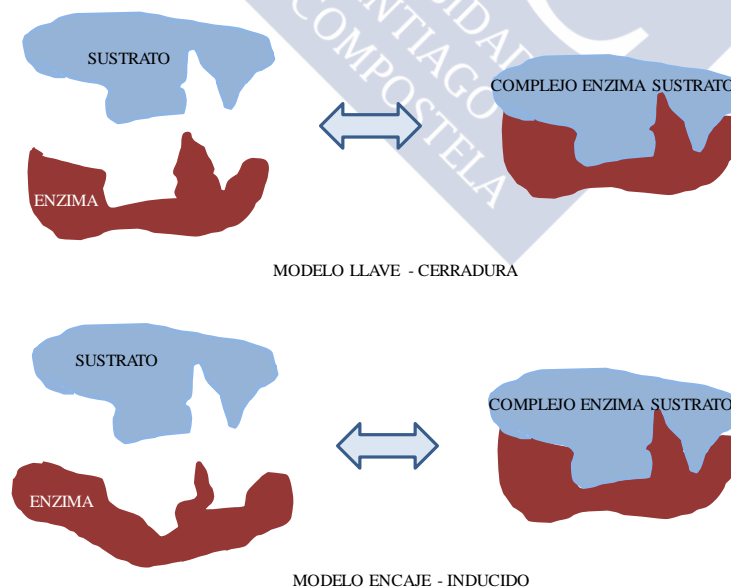


Figura 4.1: Representación de los modelos de interacción enzima-sustrato (Fuente: elaboración propia).

Estos modelos, propuestos por Fisher (1894) y Koshland (1958), los consideramos importantes para nuestro estudio porque son analogías que se emplean en las clases de bioquímica para explicar los procesos enzimáticos, como exponen Orgill y Bodner (2007) con relación a los libros de texto y a las clases. Estos autores también indican que estas analogías ayudan a los estudiantes a comprender nueva información en términos de información conocida y así estructurar el conocimiento y, si se construye el conocimiento de forma significativa, entonces, este aprendizaje permanecerá, lo podrán aplicar y será relevante para ellos. Por ese motivo, estos mismos autores explican que los estudiantes usan las analogías para comprender, visualizar y recordar la información aportada y, además, las emplean para comunicarse y exponer sus ideas al resto de compañeros. Asimismo, las analogías ayudan a motivar a los alumnos, ya que, con ellas, se puede transformar el discurso científico en lenguaje coloquial, reorientan su atención y determinan si su profesor se preocupa del éxito en la tarea.

Stalheim-Smith (1998) expone que, cuando explica en su clase el modelo llave-cerradura, utiliza el ejemplo de la llave de su casa, que abre la puerta de su casa pero no enciende su coche, porque son mecanismos diferentes, intentando que los estudiantes visualicen los mecanismos de bloqueo que realizan los enzimas, es decir, cada enzima particular actúa sobre una molécula de sustrato. De esta forma, los estudiantes conectarán esta información para más adelante consolidarla a su conocimiento.

Incluso hay autores que utilizaron paquetes informáticos para ayudar a los estudiantes a comprender mejor los mecanismos de acción de los enzimas. Éste es el caso de Dahmer (1987) quien indica que obtiene resultados satisfactorios, puesto que los estudiantes expresan que la simulación, animaciones y gráficos, les ayuda a visualizar mentalmente los mecanismos cinéticos de los enzimas. Leone, Baranauskas y Ciancaglini (1995) consideraron el uso de ordenadores como un recurso educativo en Bioquímica, para ello utilizaron el programa ENZYLOT, con el cual los estudiantes podían aprender las relaciones cualitativas y cuantitativas entre la concentración de sustrato y la cantidad de enzima que cataliza la reacción, trazando diferentes tipos de gráficas.

4.2. DIFICULTADES EN EL APRENDIZAJE DE LA INTERACCIÓN ENZIMA-SUSTRATO

Comprender la función de los enzimas es importante para la comprensión de diferentes temas dentro de la bioquímica. En concreto, es esencial que los estudiantes entiendan cómo los enzimas y los sustratos interactúan entre sí. Por este motivo se hace necesario conocer cuáles son las dificultades que tienen los estudiantes para comprender el concepto de enzima y sustrato, así como la interacción entre ambos, además de conocer las ideas alternativas que pueden presentar.

En relación a las ideas alternativas, en un estudio realizado por Storey (1992) sobre libros de texto se encontraron algunas concepciones alternativas sobre enzimas como: las reacciones enzimáticas son equilibrios; los enzimas no alteran el equilibrio, simplemente hacen que se alcance antes; los reactivos y los productos son sustratos del enzima; el mecanismo llave-cerradura implica la modificación de la estructura global del enzima, etc. También destaca un estudio realizado por Shi et. al. (2010) sobre las concepciones de los estudiantes acerca del efecto de los enzimas en el progreso, el comportamiento de los reactivos en el equilibrio y el papel de la energía liberada en una reacción. Estos autores observan que una gran parte de los estudiantes responden de forma errónea a cuestiones como por ejemplo: para que se produzca una reacción es necesaria la presencia de un enzima, en vez de indicar que simplemente afectan a la velocidad o que los enzimas actúan cambiando el equilibrio de las reacciones de las sustancias químicas mediante el aumento de sus velocidades, lo cual coincide en cierta medida con las ideas erróneas en libros de texto ya citadas por Storey.

En el estudio realizado por Orgill y Bodner (2007) se expone el caso de un estudiante que presenta dificultades para entender el concepto de “encaje-inducido”, lo cual se resuelve cuando el docente aplica la analogía de introducir una mano en un guante de plástico.

Más recientemente, las autoras Bretz y Linenberger (2012) elaboraron un cuestionario [Enzyme-Substrate Interacctions Concept Inventory (ESICI)] para medir la comprensión de los estudiantes sobre la interacción enzima-sustrato y así determinar las ideas alternativas de los estudiantes sobre este tema. Este cuestionario está compuesto por 15 items de opción múltiple, diseñado para poder usarse antes o después de la instrucción. Para su elaboración se basaron en las ideas alternativas de 25 estudiantes, de una universidad de Estados Unidos, sobre dos pares de representaciones: a) representación icónica de los modelos “llave-cerradura” y “encaje-inducido” y b) representaciones moleculares de tripsina y un sustrato de

unión. De las entrevistas realizadas a estos estudiantes detectaron cinco errores comunes relacionados con la interacción enzima-sustrato, en relación a:

- Características del enzima y del sustrato.
- El papel de la forma y la carga en la especificidad.
- Cómo el enzima actúa con el sustrato.
- Inhibición competitiva frente a inhibición no competitiva.
- Cambio conformacional.

Los resultados que obtuvieron, tras un segundo estudio con una muestra más amplia, indican que el 85% de los estudiantes tiene al menos una idea alternativa en tres o más de los errores comunes y, sólo 3 de los 707 estudiantes que participaron no tenían ninguna idea alternativa relacionada con los ítems del cuestionario.

4.3. SITUACIÓN DE LOS ENZIMAS EN EL CURRÍCULO EDUCATIVO

El papel catalítico de los enzimas cobró importancia como objeto de enseñanza en la educación secundaria en los años 60 y 70 del siglo pasado, como por ejemplo en el proyecto Biological Sciences Curriculum Study (BSCS) (Welch et al., 1972). En España, durante los años 80 y 90 se incorporaron actividades sobre los procesos enzimáticos en Educación General Básica (EGB) y Bachillerato Unificado Polivalente (BUP), como podemos encontrar, por ejemplo, en publicaciones de Pérez Pintos y Sanjuán (1980); España Talón (1984) o Cañete, Martínez, Pulido y Roiz (1990). Estos autores proponen tareas que tienen como objetivo específico la comprobación de la reacción que se produce al introducir hígado crudo en agua oxigenada, o bien la acción hidrolítica de la amilasa. Estas propuestas están pensadas como experiencias (usadas para hacer observaciones y comprobar un fenómeno), siguiendo la nomenclatura de Woolnough y Allsop (1985), utilizando un guion tipo “receta de cocina” adecuado para el dominio de una técnica, pero que priva de la posibilidad de indagar, los alumnos simplemente tienen que seguir instrucciones, es decir, requieren un nivel de indagación bajo (Tamir y García Rovira, 1992). La principal diferencia de estas actividades con la que se presenta en este trabajo es que nosotros les solicitamos que sean ellos los que diseñen un proceso experimental para explicar qué es lo que pasa en esa reacción química.

En los currículos españoles de ciencias vigentes en el momento que se implementó la tarea, estos son: Ley Orgánica, 2/2006, de Educación (LOE) (MEC, 2006), el Real Decreto

1467/2007 de 2 de noviembre, por el que se establece la estructura del bachillerato y se fijan sus enseñanzas mínimas (MEC, 2007a) y el Real Decreto 1631/2006 de 29 de diciembre, por el que se establecen las enseñanzas mínimas correspondientes a la Educación Secundaria Obligatoria (ESO) (MEC, 2007b), no se introduce el concepto de enzima hasta 2º de Bachillerato, aunque se puede encontrar algún libro de 3º de ESO en el que se mencionan e incluso se plantea alguna actividad de laboratorio, como es el caso del texto de Ed. Bruño (Panadero, Fuente, González, Lozano y Ramos, 2000) en el que se comprueba el efecto de la temperatura sobre una reacción química catalizada por el enzima catalasa (la misma enzima de la actividad propuesta).

No obstante, a pesar de que el tema de enzimas no está incluido en el currículo de 4º de ESO, nos propusimos implementar la actividad en este curso basándonos en que tanto el Real Decreto 1631/2006 (MEC, 2007b) como el Decreto 133/2007, de 5 de julio, por el que se regulan las enseñanzas de la educación secundaria obligatoria en la Comunidad Autónoma de Galicia (Xunta de Galicia, 2007) indican que los estudiantes, durante la etapa de enseñanza obligatoria, deben adquirir las estrategias relacionadas con la metodología científica. Siguiendo esto, la actividad se engloba dentro del bloque 1 “*contenidos comunes*”, cuyos contenidos, abordados en la actividad (tabla 4.1), están relacionados con el desarrollo de la competencia científica por parte de los estudiantes. Asimismo, con la actividad propuesta se contribuye a los objetivos indicados en el Decreto 133/2007 (Xunta de Galicia, 2007):

“2. Aplicar, en la resolución de problemas, estrategias coherentes con los procedimientos de las ciencias, tales como la discusión del interés de los problemas planteados, la formulación de hipótesis, la elaboración de estrategias de resolución y de diseños experimentales, el análisis de resultados, la consideración de aplicaciones y repercusiones del estudio realizado y la búsqueda de coherencia global.

3. Comprender y expresar mensajes con contenido científico utilizando diferentes lenguajes como oral, escrita, gráfica, icónica, multimedia, etc. con propiedad, así como comunicar a otros argumentaciones y explicaciones empleando los conocimientos científicos.” (p. 12.052).

Por lo tanto, en esta investigación no se trata de que los estudiantes aprendan aspectos relevantes de la termodinámica de las reacciones catalizadas por enzimas, sino que apliquen

el modelo relativamente simple (figura 4.3), para indagar sobre el funcionamiento de las reacciones químicas, que les permita diseñar los experimentos oportunos para obtener pruebas con las cuales explicar los fenómenos observados durante la actividad. Con todo ello, consideramos que se contribuye, principalmente, a la adquisición de la competencia científica.

Tabla 4.1: Contenidos comunes de 4º curso de ESO de la materia Biología y Geología (Decreto 133/2007, Xunta de Galicia, 2007).

Bloque 1. Contenidos comunes.

Utilización de estrategias propias del trabajo científico, mediante la propuesta de problemas y sencillas investigaciones, discusión de su interés, análisis de variables que intervienen, formulación de hipótesis, planificación de experiencias, organización de los datos, interpretación de resultados y comunicación de conclusiones.
Interpretación de informaciones de carácter científico y contraste de estas informaciones para formar una opinión propia y expresarse adecuadamente.
Elaboración de argumentaciones y explicaciones sobre hechos, observaciones o resultados experimentales, empleando modelos científicos adecuados

4.4. DISEÑO DE LA ACTIVIDAD

La actividad está diseñada para 4º de ESO para lo cual se tuvo en cuenta:

- 1) Las prácticas científicas que pretendemos que desarrollen los estudiantes, que son la argumentación, la indagación y la modelización.
- 2) Las capacidades de los estudiantes, según Shayer y Adey (1986), que se detallan en el apartado 4.7.
- 3) Los contenidos correspondientes a la materia de Ciencias de la Naturaleza del *Real Decreto 1631/2006 de 29 de diciembre, por el que se establecen las enseñanzas mínimas correspondientes a la Educación Secundaria Obligatoria (ESO)* (MEC, 2007b) y del *Decreto 133/2007, do 5 de xullo, polo que se regulan as ensinanzas da educación secundaria obrigatoria na Comunidade Autónoma de Galicia* (Xunta de Galicia, 2007). Ambos vigentes en el momento de la realización del estudio.

Con relación al punto 3, los contenidos de ciencias de la naturaleza, hallamos que se puede encuadrar nuestra tarea en el bloque común de cada uno de los cuatro cursos de ESO, pero considerando la complejidad de la misma, hemos decidido desarrollarla en el cuarto curso, al considerar que el desarrollo mental de los alumnos es adecuado para llevarla a cabo, es decir, las capacidades de los estudiantes, como se comenta en el apartado 4.7.

Principios de diseño

Con el fin de promover las prácticas científicas, debemos tener en cuenta unos principios de diseño que consideramos comunes tanto para la argumentación, como para la indagación y la modelización. Estos principios los expone Jiménez Aleixandre (2008) para promover la argumentación, aunque consideramos que son transferibles a todas las prácticas científicas implicadas en nuestra tarea. Estos principios son:

- a) El papel del estudiante debe ser activo, es decir, ellos deben ser los productores del conocimiento, y no simples oyentes de una explicación. Así ocurre cuando tienen que emplear el modelo de enzima-sustrato para conseguir determinar las causas por las que se detienen las reacciones.
- b) El papel del docente en esta actividad pasa a ser el de mediador, puesto que se les pide a los estudiantes que sean los protagonistas de la tarea. En las ocasiones en las que demandan ayuda, se les aporta en la medida de lo posible, sin solucionarles el problema.
- c) Las actividades de aprendizaje deben ser de preguntas abiertas, como es el caso de la segunda parte de la actividad, en la cual los estudiantes deben argumentar y discutir, utilizando el modelo aportado para resolver el problema planteado.

4.5. DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD

La actividad propuesta está centrada en un proceso enzimático, concretamente la descomposición del peróxido de hidrógeno “in vitro” catalizada por el enzima catalasa contenido en muestras animal (hígado) y vegetal (patata), ambos frescos.

El objetivo de esta actividad es determinar las posibles causas por las que las reacciones del agua oxigenada con el hígado y el agua oxigenada con la patata se detienen después de transcurrido un cierto tiempo. Los contenidos implicados son: la reacción de descomposición que se produce cuando interaccionan el enzima (catalasa) y el peróxido de hidrógeno (H₂O₂, agua oxigenada en lo sucesivo) y, su velocidad de reacción.

El agua oxigenada es un subproducto de las reacciones químicas que se producen en las células vivas (Welch et al., 1972) que, por ser tóxico, debe ser eliminado inmediatamente. Esta reacción química se produce en las células mediante la acción del enzima que acelera la reacción, descompone el peróxido de hidrógeno para producir rápidamente agua y oxígeno, que son sustancias inocuas para las células:
$$2 \text{H}_2\text{O}_2(\text{ac}) \xrightarrow{\text{catalasa}} 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) + \text{O}_2(\text{g})$$

Antes de comenzar la actividad se explicó a los estudiantes el modelo escolar (figura 4.3) genérico para cualquier reacción catalizada por un enzima, donde E representa al enzima, S al sustrato, ES al compuesto intermedio, denominado complejo enzima-sustrato y P al producto de la reacción.



Figura 4.2: Representación del modelo escolar de la interacción enzima sustrato.

En el modelo se considera que el proceso se produce en dos pasos. En el primero, el enzima (E) debe unirse a una molécula de sustrato (S), formando el complejo enzima-sustrato (ES); en el segundo paso, se obtiene el producto (P) y el enzima queda libre para poder actuar de nuevo sobre el sustrato (S), es decir, se libera después de la transformación del sustrato en producto.

Consideramos que este modelo escolar coincide con lo que Halloun (2006) denomina *modelo básico*, suficientemente simple para facilitar el aprendizaje de conceptos y principios fundamentales, que además proporciona herramientas y habilidades básicas de la investigación científica. Este modelo básico se construirá a partir de un modelo subsidiario, más simplificado y familiar para el estudiante, y servirá para la construcción de otros modelos más complejos de la teoría.

Asimismo, opinamos igual que López, Balbuena y Hernández (2015), que la información que se da a los estudiantes sobre la catalasa debe estar en función del nivel de escolaridad. Así, en el curso escogido para nuestra investigación y la edad de los estudiantes, la reacción de la catalasa con el peróxido de hidrógeno les lleva a usar conceptos como: catalizador, enzima, sustrato, complejo enzima-sustrato y producto.

La tarea propuesta (anexo I) está dividida en dos partes:

En la primera parte, denominada Act.1: “*Acción catalítica de los enzimas*”, los estudiantes tienen que realizar una actividad de observación, que consiste en introducir en tres tubos de ensayo cantidades equivalentes de arena, de hígado y de patata, en los que previamente introdujeron una cantidad concreta de agua oxigenada. A continuación, deben inferir el efecto del enzima a partir de la observación del burbujeo que se produce: a) si no se produce burbujeo (caso del tubo con arena) es que no hay reacción (aunque de hecho sí se produce

espontáneamente, pero a una velocidad tan lenta que no se aprecia) y b) si se produce burbujeo (caso del hígado y la patata) se produce reacción catalizada por el enzima y deben estimar las velocidades de reacción según una escala subjetiva basada en el desprendimiento de burbujas, es decir, a mayor velocidad en el desprendimiento de burbujas mayor velocidad de reacción. Por tanto, las destrezas que tienen que utilizar en esta parte de la actividad son la interpretación de los datos empíricos, para obtener los datos de primera mano (Hug y McNeill, 2008).

En la figura 4.3 mostramos la representación de esta actividad con un diagrama de flujo.

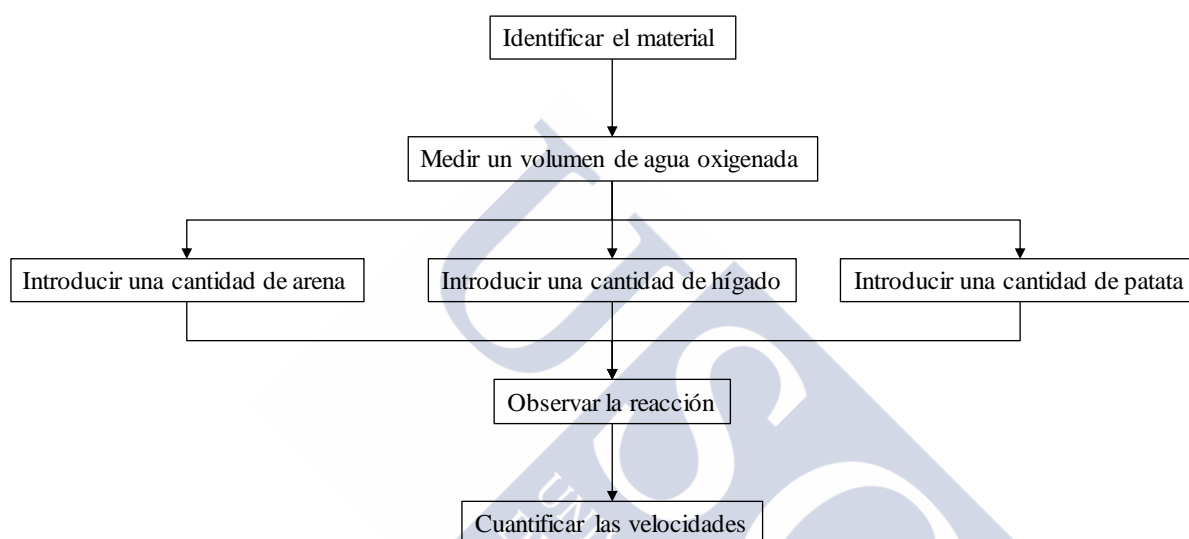


Figura 4.3: Diagrama de flujo de la Act. 1: “*Acción catalítica de los enzimas*”.

Esta primera parte se proyecta para familiarizar a los estudiantes con el material, la reacción y su cinética. Como puntualizan Jiménez, Llobera y Llitjós (2005), realizar una primera práctica cerrada es útil para ayudar al alumnado a completar la siguiente tarea abierta. Además, haciendo esta primera actividad se obtiene el material para la realización de la segunda parte de la tarea.

En la segunda parte, se plantea un problema doble:

Act.2: “¿Por qué paró la reacción con el hígado?”

Act.3: “¿Por qué paró la reacción con la patata?”

Como ya se comentó, para ayudarles en la resolución del problema se les entregó como apoyo teórico una hoja de ayuda (anexo II), donde se les explica, de forma resumida, el funcionamiento de los enzimas, sus propiedades y los factores que les afectan, así como la

representación del modelo escolar de la interacción que se produce entre el enzima y el sustrato (figura 4.2).

Para la resolución de la segunda parte de la actividad, lo primero que tienen que hacer es percibir el problema a resolver, por lo que deben comprender la forma de actuar de los enzimas apoyándose en la explicación teórica del funcionamiento de los enzimas y en la hoja de ayuda. En el siguiente paso deben formular hipótesis para comprobar cuál de los componentes de las reacciones producidas en la Act.1 se acaba, provocando la detención de la reacción. Para contrastar las hipótesis deben, acordar entre todos cuál es la estrategia que van a seguir, planificar los experimentos que van a realizar y qué materiales van a usar. Además, deben predecir lo que puede pasar al realizar esos experimentos. Por eso, antes de realizar cualquier experimento, les pedimos que redacten en el informe sus hipótesis, los experimentos que van a hacer y las predicciones de lo que puede pasar. Por último, deben realizar los experimentos acordados, observar los resultados, interpretarlos y redactar un informe con los resultados y las conclusiones, indicando si aceptan o no su hipótesis.

Resumiendo, en esta actividad deberían seguir el referencial de las etapas de investigación (APU, 1984): a) Percepción el problema, b) formulación de hipótesis, c) planteamiento del experimento, d) realización del experimento, e) interpretación de los datos y conclusiones, y f) evaluación y comunicación de los resultados. Por ello, observando las destrezas de indagación que tienen que desarrollar los estudiantes, establecemos el grado de apertura de la propuesta didáctica teniendo en cuenta la clasificación de Herron (1971, citado por Millar, Tiberghien y Maréchal, 2003), que se muestra en la tabla 4.2. Así, la primera parte estaría en el nivel 1, porque el problema y los procedimientos se dan en el planteamiento, pero las conclusiones tienen que aportarlas los estudiantes; mientras que la segunda parte presentaría un nivel 2 de apertura, ya que a los estudiantes se les proporciona el problema, pero los procedimientos y las conclusiones tienen carácter abierto, es decir, son los estudiantes los que tienen que establecer el procedimiento para la resolución del problema y comunicar las conclusiones que consideren válidas.

Tabla 4.2: Análisis de la apertura de la propuesta didáctica empleando el Inventario del Nivel de Indagación en el Trabajo Práctico (ILI) de Herron, (1971, citado por Millar, Tiberghien y Maréchal, 2003).

ACTIVIDADES	Problemas	Procedimientos	Conclusiones	Nivel
Act. 1: Acción catalítica de los enzimas	se da	se da	abierto	1
Act. 2: ¿Por qué paró la reacción con el hígado?	se da	abierto	abierto	2
Act. 3: ¿Por qué paró la reacción con la patata?	se da	abierto	abierto	2

4.6. REFERENCIAL DE RESOLUCIÓN DE LOS PROBLEMAS

El doble problema propuesto es de carácter abierto, es decir, son posibles varias respuestas. No obstante, la autora desarrolló una respuesta referencial al problema, tanto para comprobar las dificultades que podrían surgir en su resolución, como para establecer el marco de conocimiento para analizar los procedimientos llevados a cabo por los estudiantes. Seguidamente se describe todo el procedimiento desde la Act.1 hasta la última contrastación de las hipótesis:

4.6.1. Referencial para la Act 1 “Acción catalítica de los enzimas”

Estimar las velocidades de las reacciones.

Se lleva a cabo lo indicado en la Act.1., observando y tomando nota de la estimación de las velocidades de reacción de las tres muestras empleadas: arena, hígado y patata. Se les asigna un valor relativo (0= no hay reacción; 1= lenta; 2= moderada; 3= rápida, y 4= muy rápida), encontrando que la única muestra que no reacciona es la que contiene arena, las otras dos reaccionan, como consecuencia de la catálisis enzimática de la catalasa que contienen ambas muestras, estimando que la velocidad de reacción de la muestra que contiene hígado es más rápida y se detiene antes que la reacción producida con la muestra de la patata, por lo que consideramos que las velocidades estimadas podrían ser: arena 0, hígado 3 y patata 1 ó 2. Se dejan reposar hasta que se detienen por completo.

En la figura 4.4 se muestra el procedimiento de realización de esta actividad.

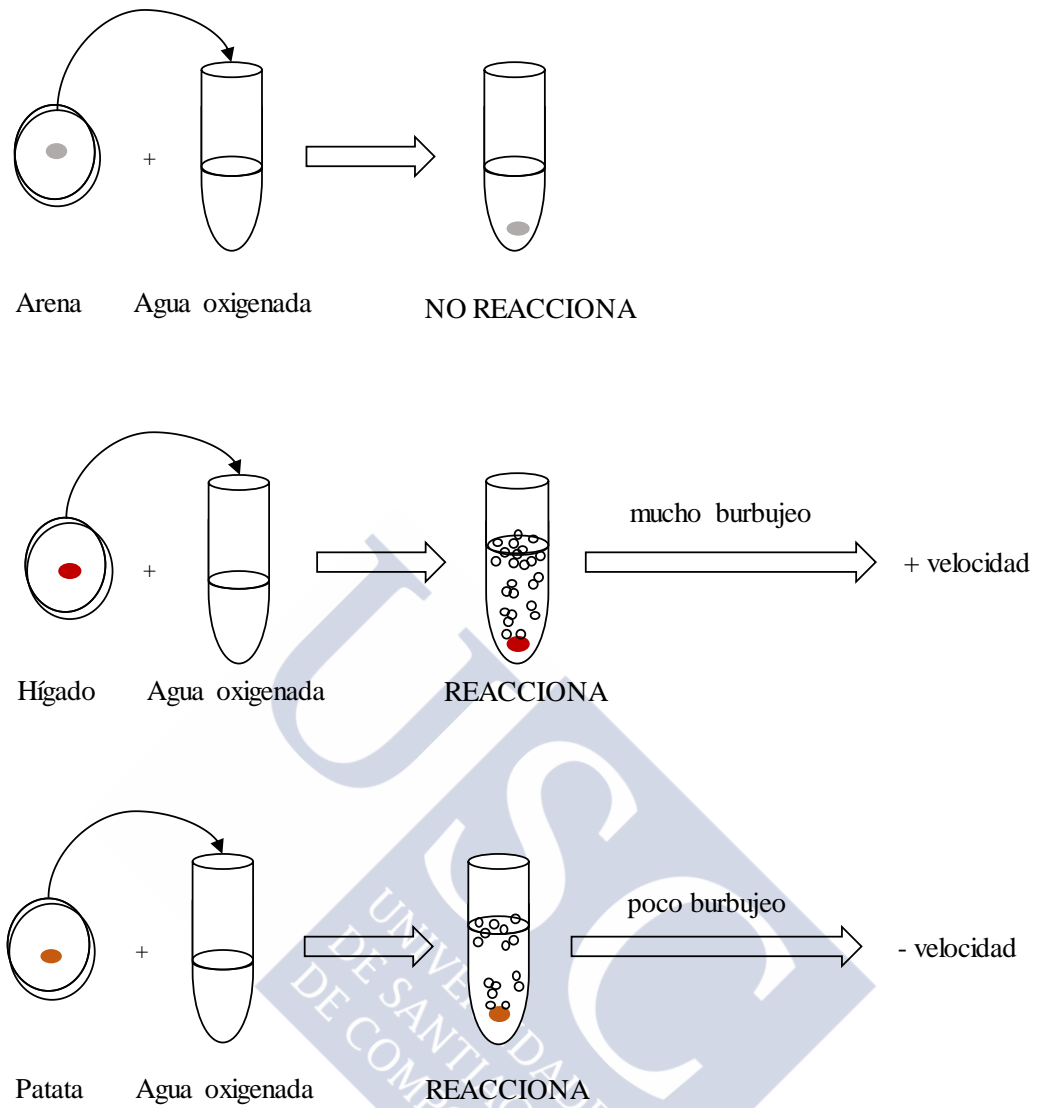


Figura 4.4: Procedimiento de realización de la Act.1 “Acción catalítica dos enzimas”.

4.6.2. Referencial de las Act.2 “¿Por qué paró la reacción con el hígado?” y Act.3 “¿Por qué paró la reacción con la patata?”

Para poder realizar los experimentos de comprobación de las causas por las que se detuvieron las reacciones, debe esperarse a que paren de reaccionar. Se detiene antes la reacción con el hígado que con la patata.

Antes de realizar ninguna comprobación establecimos las hipótesis, fijándonos en el modelo de referencia de la descomposición del agua oxigenada catalizada por el enzima catalasa (figura 4.5).

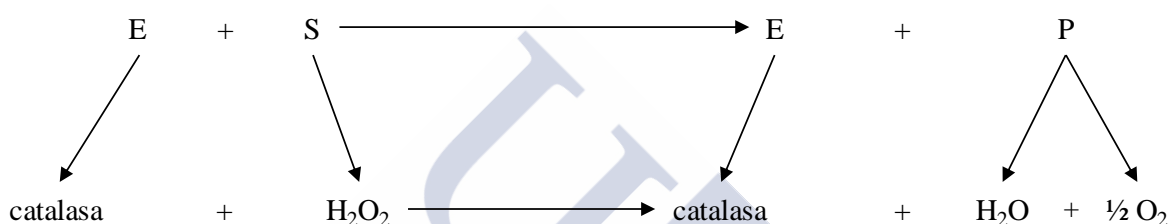


Figura 4.5: Representación del modelo referencial de la descomposición del agua oxigenada catalizada por el enzima catalasa E= enzima, S= sustrato, P= producto

La metodología experimental empleada consiste en decidir entre hipótesis rivales, realizando un experimento factorial que demuestre cual debe ser aceptada y cual refutada (Harré, 1986).

a) Formulación de Hipótesis

Como se comprueba en la figura 4.6, para que se produzca la reacción es necesaria la presencia de enzima funcional (E) y de sustrato (S). Son las dos variables independientes que intervienen en el experimento, que pueden tomar cada una de ellas dos valores (1,0): que esté presente será 1 y que esté ausente será 0. La variable dependiente es la producción de la reacción, identificable por el burbujeo (B) que produce el oxígeno al desprenderse, que puede tomar también dos valores (1,0): producción de burbujeo será 1 y no burbujeo será 0. En la tabla 4.3 se representa la relación de los estados o valores de las variables implicadas en la reacción.

Tabla 4.3: Relación entre las variables implicadas en la reacción de la descomposición del agua oxigenada catalizada por la catalasa

Variable independiente (sustrato)	Variable independiente (enzima)	
	E (1)	E (0)
S (1)	B (1)	B (0)
S (0)	B (0)	B (0)

Por tanto, la condición para que se detenga la reacción es la ausencia de al menos uno de los componentes implicados en la reacción. En consecuencia, las hipótesis rivales que se formulan son:

Hip a.- *se acabó el sustrato*, es decir, agua oxigenada (H_2O_2); el líquido que queda en el tubo es fundamentalmente agua (H_2O). El enzima catalasa está presente y es funcional.

Hip b.- *el enzima catalasa se desnaturalizó*, se estropeó y ya no funciona. En el tubo queda sustrato (H_2O_2) sin descomponer.

Hip c.- *se acabaron los dos componentes de la reacción*.

Hip. d.- *los dos componentes de la reacción siguen presentes*.

b) Criterios de contrastación

Como consecuencia de estas hipótesis, los criterios empleados hacen referencia a la necesidad de incorporar el elemento que falta en el sistema detenido (tubo de ensayo) para que se produzca la reacción. Por ello, para contrastar la Hip. a.- *se acabó el sustrato*, lo que ha de añadirse es sustrato y, si al añadirlo se produce la reacción, se acepta la hipótesis; en caso contrario, si no recomienza la reacción habrá que refutar esta hipótesis (por tanto, si hay reacción se acepta y si no la hay se refuta). Para contrastar la Hip. b.- *el enzima catalasa se desnaturalizó*, lo que hay que añadir al sistema (tubo de ensayo) detenido, es enzima. Si al añadirlo se reproduce la reacción, hay que aceptar la Hip. b. En el caso de que no recomience la reacción, lo que hay que hacer es rechazar la Hip. b (si hay reacción se acepta Hip. b, y si no la hay se refuta). En la tabla 4.4 se muestran los criterios de contrastación de las hipótesis.

Tabla 4.4: Criterios de contrastación de las hipótesis formuladas

Hipótesis a contrastar	Experimento de contrastación	Criterio de contrastación
Hip a E (1) S (0)	0 + S	Si reacciona se acepta la hipótesis correspondiente.
Hip b E (0) S (1)	+ E 0	
Hip c E (0) S (0)	+ E + S	Si no reacciona se refuta la hipótesis correspondiente.
Hip d E (1) S (1)	0 0	

No se considera necesario contrastar las hipótesis c y d, porque la Hip d [E (1), S (1)] es absurda, ya que hay reacción, y la Hip c [E (0), S (0)] no se tiene en cuenta por motivos análogos y porque se contrastan las hipótesis Hip a [E (1), S (0)] y Hip b [E (0), S (1)].

c) Diseño de experimentos y resultados

Dado que han de contrastarse dos hipótesis, la Hip a y la Hip b, empleando el material contenido en el tubo de ensayo usado en la Act.1, ha de procederse a dividir éste en dos partes (figura 4.6): se disponen dos tubos de ensayo y en cada uno se pone la mitad del líquido y la mitad de la muestra de enzima (la mitad del trozo de hígado en la Act.2 y la mitad del trozo de patata en la Act.3). Se planifican los experimentos A y B: en el experimento A hay que añadir sustrato (H_2O_2), tanto en la Act.2 como en la Act.3, para contrastar la Hip. a; en el experimento B, se ha de incorporar enzima (un nuevo trozo de hígado en la Act.2 y un nuevo trozo de patata en la Act.3).

Se realizan los experimentos, y al observar los resultados se comprueba en que caso se vuelve a producir la reacción, y esa es la hipótesis que se acepta. Se rechaza la hipótesis en que no volvió a producirse reacción. Naturalmente hay que hacerlo tanto en la Act.2 (con hígado) como en la Act.3 (con patata). La razón estriba en que los resultados son contradictorios, y mientras que en el caso de la Act.2 (hígado) es la Hip. a *se acabó el sustrato* la que se tienen que aceptar, en la Act.3 (patata) es la Hip. b *el enzima catalasa se desnaturalizó* la que debe aceptarse. Desde el punto de vista técnico, esta diferencia puede deberse a multitud de causas, en las que no entramos. Sin embargo, desde el punto de vista de la enseñanza, este resultado abre nuevos caminos que pueden ser explorados por los estudiantes y que muestran la metodología de la ciencia.

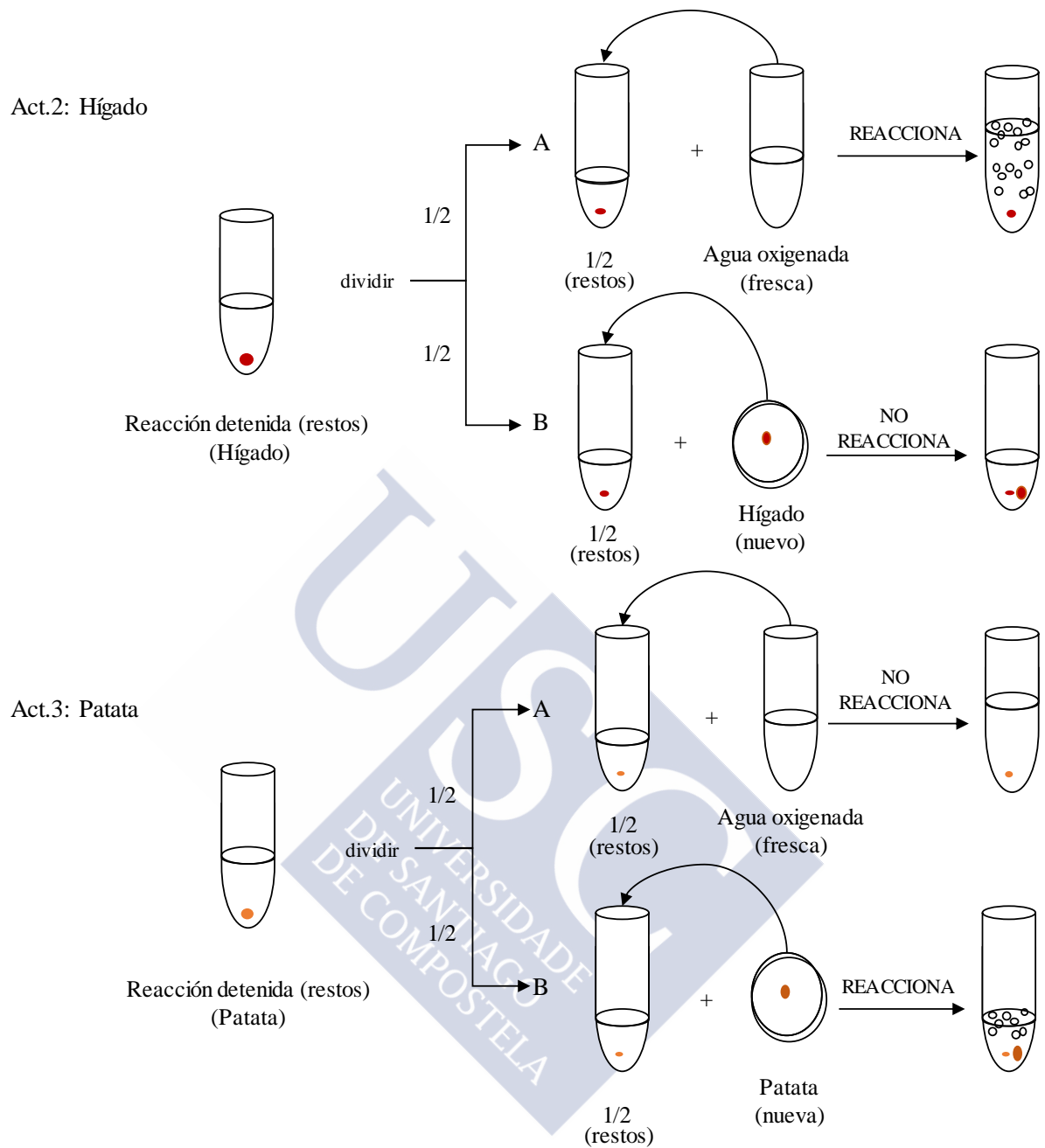


Figura 4.6: Protocolo experimental de contrastación de hipótesis.

4.7. CAPACIDADES REQUERIDAS POR LA ACTIVIDAD

Como se mencionó anteriormente, los enzimas como contenido disciplinar de la actividad propuesta no está incluido en el currículo de 4º de ESO, no obstante el análisis de la complejidad cognoscitiva que requiere la actividad nos indica que sí podrían ser capaces de resolverla.

Para conocer esa complejidad nos basamos en las taxonomías propuestas por Shayer y Adey (1986) elaborada a partir de los estadios y subestadios propuestos por Piaget sobre el pensamiento del niño (tabla 4.5). La clasificación de Shayer y Adey sirve para conocer el nivel de desarrollo de los esquemas mentales de los estudiantes, así como determinar el nivel de complejidad cognoscitiva requerida por los materiales curriculares. En nuestro caso, utilizamos esta clasificación de forma orientativa para determinar la complejidad cognoscitiva requerida para nuestra propuesta didáctica.

Tabla 4.5: Estadios de desarrollo cognoscitivo del niño enumerados por Piaget.

1. Preoperatorio.
2A. Inicial de las operaciones concretas.
2B. Avanzado de las operaciones concretas (concreto avanzado).
2B/3A. Estadio de transición.
3A. Inicial de las operaciones formales (formal inicial).
3B. Avanzado de las operaciones formales.

Consideramos llevar a cabo nuestra propuesta didáctica en 4º de ESO, curso donde la edad de los estudiantes está comprendida entre los 15 y los 16 años, edad en la que presumiblemente los estudiantes se encuentran, al menos, entre el nivel cognoscitivo 2B (concreto avanzado) y 3A (formal inicial), estadios en los que los estudiantes van evolucionando del pensamiento basado en la realidad al pensamiento abstracto en el que pueden usar su razonamiento científico (Shayer y Adey, 1986).

Estos autores clasifican diferentes temas relacionados con la física, la química y la biología y, los relacionan con la capacidad cognoscitiva requerida por los estudiantes. En concreto caracterizamos nuestras actividades en los niveles de química y biología (tabla 4.6).

En relación a los temas de química (Q): el tema Q.3 Velocidad de reacción, la Act. 1 estaría en el nivel 2B (concreto avanzado), la capacidad conceptual consiste en relacionar el tamaño de las muestras y la cantidad de agua oxigenada para que se produzca la reacción y en las Act. 2 y Act. 3 no influye la velocidad de reacción. En relación al tema Q.5 Compuestos, reacciones

y su representación química, la Act. 1 estaría en el nivel 2B (concreto avanzado), la capacidad conceptual consiste en que pueden usar ecuaciones con letras para indicar que una reacción puede ser reversible, y en las Act. 2 y Act. 3, nivel 3A (formal inicial), pueden comprender modelos simples para explicar el cambio químico. La capacidad conceptual del tema Q.8 Equilibrio químico, las tres actividades estarían en el nivel 3A (formal inicial), en la Act. 1 deben comprender que no todas las reacciones llegan al final del proceso y se completa en las Act. 2 y Act. 3 donde deberían comprender que, si se modifican las sustancias implicadas en la reacción, ésta puede variar.

En cuanto a los temas de biología: el tema de B.8 Procesos químicos, la Act. 1 se encuadra entre los niveles 2B (concreto avanzado) y 3A (formal inicial), la velocidad de reacción es el concepto implicado y en las Act. 2 y Act.3 deben interpretar lo que pasa en la reacción, por tanto, el nivel cognitivo estaría en 3A (formal inicial); sin embargo, en la Act. 1 con relación al tema de B.9 Estrategias experimentales, el procedimiento de dicha actividad se proporciona, el nivel cognoscitivo necesario no es muy alto, pero en las Act. 2 y Act. 3 el nivel cognoscitivo se encuentra en el nivel 3A (formal inicial), puesto que son los propios alumnos los tienen que elaborar las estrategias para controlar las variables obvias en los experimentos que realizan y al proporcionarles el modelo de la forma en que estas variables intervienen, deberían poder analizar los resultados que obtienen.

Tabla 4.6: Nivel de complejidad cognoscitiva requerida por las actividades planteadas según los temas de química y biología, basado en Shayer y Adey (1986). Nota: Q= química; B= biología.

Temas	Act. 1	Act. 2	Act. 3
Q.3 Velocidad de reacción.	2B	3A	3A
Q.4 Elementos y teoría de partículas.	2B	3A	3A
Q.5 Compuestos, reacciones y su representación química.	2B	3A	3A
Q.8 Equilibrio químico.	3A	3A	3A
Q.9 Sustancias químicas y energía.	2B/3A	2B/3A	2B/3A
B.8 Procesos químicos.	2B/3A	3A	3A
B.9 Estrategias experimentales.	2B	3A	3A
GLOBAL	2B/3A	3A	3A

Otro aspecto interesante, de los estudios de Shayer y Adey (1986), es la construcción de sus taxonomías. Para nuestro estudio nos resulta de interés la taxonomía 1, en la que hacen una división en niveles de los diferentes aspectos del desarrollo de la interacción del niño con el

mundo centrándose en las actividades mentales de los niños (función). Apoyándonos en las funciones implicadas en nuestra investigación, podemos determinar las capacidades generales que los estudiantes deberían poseer para llevar a cabo la indagación que se les pide. Comparando esta clasificación con nuestras actividades, consideramos que, de forma global, la Act.1 “*Acción catalítica de los enzimas*” estaría entre los niveles 2B (concreto avanzado) y 3A (formal inicial), correspondiente al estadio de transición (2B/3A) y, que las Act. 2 “*¿Por qué paró la reacción con el hígado?*” y Act. 3 “*¿Por qué paró la reacción con la patata?*” estarían en el nivel 3A (formal inicial) (tabla 4.7). Así, cuando comparamos, de forma individual, las funciones implicadas en las actividades planteadas (tabla 4.8), observamos que en relación al *interés y la actitud investigadora* (1.1), los alumnos pueden emplear el modelo, pero necesitan que se les proporcione. Con relación a las *razones de los hechos* (1.2), en la Act.1 pueden usar relaciones de orden para clasificar, por ejemplo, ordenar las velocidades de las reacciones con la arena, el hígado y la patata, sin embargo, en las Act. 2 y Act. 3, el nivel sería el 3A (formal inicial). También pueden considerar diferentes *relaciones* de causas para un efecto, en nuestro caso, se detiene la reacción porque se acabó el enzima o porque se acabó el sustrato, así como podrían *usar modelos* formales de estructura simple. Considerando las *relaciones* (1.3) que pueden establecer, en la primera actividad deberían ser capaces de descubrir relaciones lineales, por ejemplo, si juntamos el enzima con el sustrato se produce la reacción, en las actividades 2 y 3 deberían poder establecer relaciones funcionales simples además de la lineal como por ejemplo si añadimos más sustrato, entonces dura más la reacción. El *uso de modelos* (1.4), la Act.1 estaría en el nivel 2B (concreto avanzado), es decir, el “modelo” es simplificado, pero tiende a “*la interpretación indirecta de la realidad por una comparación deductiva*” (3A) y, las Act.2 y Act.3 estarían en el nivel 3A (formal inicial), el modelo es una interpretación indirecta de la realidad, en el cual “*El modelo se considera como algo verdadero, no hipotético, por tanto, en este nivel no suele darse la comparación crítica con otros modelos formales alternativos*” (p.97); por último, los *tipos de categorización* (1.5), en la Act.1 podrían hacer clasificaciones jerárquicas, por ejemplo, clasificar según la velocidad de reacción, pero en las Act.2 y Act.3 no se les pide que realicen ninguna clasificación.

Tabla 4.7: Diferentes aspectos del desarrollo de la interacción del niño con el mundo relacionados con las actividades.

Función	Act. 1	Act. 2	Act. 3
1.1 Interés y actitud investigadora.	2A/2B	3A	3A
1.2 Razones de los hechos.	2B	3A	3A
1.3 Relaciones.	2A/2B	3A	3A
1.4 Uso de modelos.	2B/3A	3A	3A
1.5 Tipos de categorización.	2B/3A	3A	3A
GLOBAL	2B/3A	3A	3A





II RESULTADOS





Capítulo 5. RESULTADOS

Los resultados de esta tesis se presentan en este capítulo, en el que se pretende dar respuesta a los tres objetivos de investigación. En concreto, a sus correspondientes preguntas de investigación.

Objetivo 1: Caracterizar la calidad del proceso de argumentación que siguen los estudiantes mientras resuelven el problema planteado.

Entendemos que el proceso de argumentación es determinante para conocer si las conclusiones a las que llegan son coherentes con los datos de los que parten y si son pertinentes para resolver el problema.

1ª pregunta de investigación: *¿Cuál es la calidad de los argumentos que emplean los estudiantes en la resolución del problema?*, se analizan la estructura de los argumentos y en qué medida las pruebas empleadas son apropiadas.

2ª pregunta de investigación: *¿En qué medida las líneas argumentativas les llevan a conclusiones acordes con el enunciado del problema?*, se analiza cómo usan pruebas para apoyar sus conclusiones.

Objetivo 2: Caracterizar la calidad del proceso de indagación que siguen los estudiantes mientras resuelven el problema planteado.

A lo largo del proceso de indagación deben acordar, a través de la argumentación, los diseños experimentales que planifican y ejecutan para contrastar las hipótesis que establecen.

3ª pregunta de investigación: *¿En qué medida las hipótesis que formulan son pertinentes para resolver el problema?*, para responder a esta pregunta analizamos si

las hipótesis que formulan están enfocadas a dar una respuesta al porqué se detienen las reacciones, si no es así, se considera que la hipótesis no es pertinente.

4ª pregunta de investigación: *¿En qué medida los estudiantes son capaces de diseñar un experimento para contrastar sus hipótesis?*, para dar respuesta a esta pregunta observamos si los estudiantes diseñan experimentos adecuados para contrastar sus hipótesis.

Objetivo 3: Caracterizar el proceso de modelización que siguen los estudiantes para generar una explicación al problema planteado.

En el proceso modelización se incluyen los dos procesos anteriores, ya que a través de la argumentación construyen los modelos y de la indagación los evalúan empíricamente.

5ª pregunta de investigación: *¿Cómo construyen, evalúan y modifican sus modelos?*, para responder a esta pregunta utilizamos una adaptación del MMD (Justi y Gilbert, 2002) para nuestro estudio. Siguiendo este esquema, se puede establecer cómo van construyendo sus modelos, si los modifican en función de los resultados que obtienen y si los evalúan para comprobar si con ellos pueden explicar la detención de las reacciones.

6ª pregunta de investigación: *¿En qué medida los modelos elaborados por los estudiantes permiten explicar la detención de las reacciones enzimáticas?*, a partir de las explicaciones que dan los estudiantes para resolver el problema establecemos si los modelos que elaboran responden a las posibles causas por las que se detienen las reacciones.

Este capítulo se estructura en cinco apartados. En cada apartado se analizan los resultados de cada grupo analizando para cada uno de ellos las tres destrezas (argumentación, indagación y modelización) implicadas en la competencia científica.

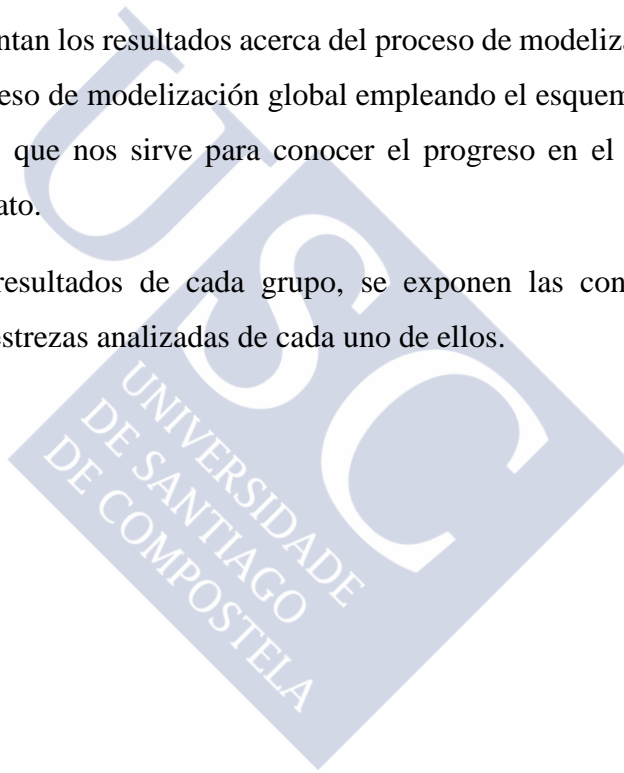
Así, para analizar el proceso de argumentación de cada grupo, primeramente, interpretamos los argumentos relevantes de cada grupo y los representamos con el TAP (Toulmin, 1958) para tener una visión global del argumento, identificar las pruebas que emplean en sus justificaciones y conocer la calidad del proceso argumentativo. A continuación, establecemos las líneas argumentativas (basadas en las líneas de razonamiento propuestas por Kelly, Regev y Prothero, 2007) que siguen relacionando los datos con sus conclusiones justificándolas con

pruebas de diferentes tipos. Estas líneas las inferimos a partir de los argumentos que construyen estos estudiantes mientras realizan la tarea.

Una vez analizado el discurso argumentativo, nos centramos en analizar cómo diseñan los experimentos que les permitan comprobar o rechazar sus hipótesis. Con el fin de dar respuesta a las preguntas de investigación relacionadas con el proceso de indagación, empleamos las etapas propuestas por el proyecto APU (Assesment of Performance Unit, 1984) para una investigación en el contexto escolar. Tras conocer el proceso de indagación se analiza la calidad del proceso en cada uno de los grupos, atendiendo a su capacidad para diseñar experimentos y enunciar hipótesis pertinentes al problema propuesto.

A continuación, se comentan los resultados acerca del proceso de modelización, analizando el uso del modelo y el proceso de modelización global empleando el esquema de Justi y Gilbert (2002) para cada grupo, que nos sirve para conocer el progreso en el uso del modelo de interacción enzima-sustrato.

Para finalizar con los resultados de cada grupo, se exponen las conclusiones parciales correspondientes a las destrezas analizadas de cada uno de ellos.



5.1. RESULTADOS DEL GRUPO A

El grupo A está formado por cinco estudiantes varones que denominamos Abel, Adrián, André, Antón y Anxo. Uno de los componentes, Anxo, pretende ser el líder del grupo. Intenta que todo lo que se diseñe, ejecute y escriba esté supervisado por él. De hecho, no permite realizar nada hasta que él esté convencido, por lo que en algunos momentos de la actividad tienen enfrentamientos de liderazgo.

5.1.1. El proceso de argumentación

A partir del discurso natural del grupo A interpretamos tres argumentos relevantes, que representamos con el TAP. Asimismo, inferimos dos líneas argumentativas partiendo de los argumentos interpretados. Los dos primeros argumentos que construyen están incluidos en sendas líneas argumentativas, sin embargo, el último es un argumento que apoya a ambas.

Construyen su primer argumento a partir del dato implícito de la Act.1, *la reacción se detiene, no tienen burbujas*, que obtienen al observar los tubos con los restos de las reacciones de la Act.1, para llegar a la conclusión, *se acabó el enzima catalasa*, que interpretamos como su primera hipótesis Hip.A₁ “*se acabó el enzima catalasa*”. Las pruebas a las que apelan para justificar su hipótesis Hip.A₁ están englobadas en el tipo de pruebas que denominamos teóricas, las cuales son aportadas por André (t.77) *E si se acabou a enzima catalasa, logo non [...] reaccionará coa auga osixenada* al indicar que si se terminó el enzima no reaccionará con agua oxigenada. Con esta prueba justifican la conclusión de Anxo (t.75).

t.75 Anxo: *Acabouse o, o enzima catalasa*

[Hip.A₁]

Consideramos que esta prueba es apropiada porque permite justificar la detención de las reacciones y además relaciona de forma coherente los datos con la conclusión. No obstante, Anxo indica que el enzima se acaba, lo cual desde un punto de vista científico no es correcto de acuerdo con el modelo escolar.

El TAP con el que representamos este argumento se muestra en la figura 5.1, y recoge las pruebas utilizadas para relacionar los datos con la conclusión (Hip.A₁). Este argumento es de calidad media, es decir, es de estructura sencilla, pues consta únicamente de dato, justificación y conclusión, y la prueba que engloba en su justificación es apropiada, ya que hace referencia

a que, si se termina el enzima se detienen las reacciones porque no hay enzima que reaccione con el sustrato.

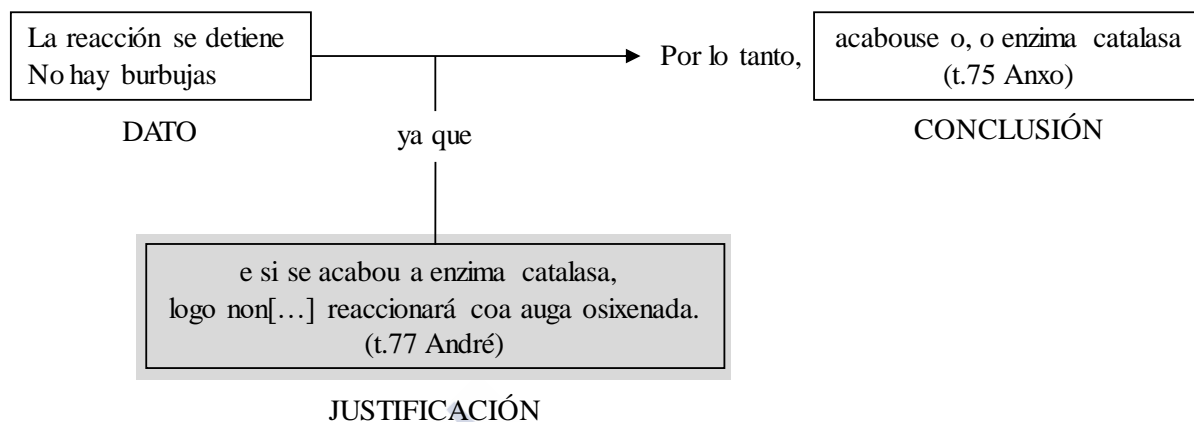


Figura 5.1: Argumento del grupo A en el que exponen su primera hipótesis sobre las causas de la detención de las reacciones.

El segundo argumento que construyen surge de los mismos datos, *la reacción se detiene, no hay burbujas*, sin embargo, apelan a diferentes pruebas para apoyar esta segunda conclusión o Hip.A₂ “*se acabó el oxígeno del agua oxigenada*” expuesta por Abel (t.91 y t.94).

t.91 Abel: *Pode ser que se acabara o osixeno da auga osixenada [...] que se transformara en auga.* [Hip.A₂]

t.94 Abel: *En vez de hache dous o dous, hache o dous [...]*

Para justificar esta conclusión apelan a pruebas de dos tipos: empíricas y teóricas.

La prueba de tipo empírico es el burbujeo que se produce:

t.102 Antón: *Y para, para, porque [...] el oxígeno sube pa riba. El oxígeno de más [...]* [Burbujeo]

t.104 Antón: *Exactamente. El oxígeno que tenía el agua [...] oxigenada de más pasa pa riba.*

Las pruebas de tipo teórico procedentes de los datos de la hoja de ayuda se muestran a continuación, junto con las intervenciones de las que se extraen:

- El enzima es un catalizador cuya función es acelerar la reacción.

t.87 Anxo: *Pero, ¿el enzima catalasa no es un catalizador?*

t.88 Antón: *Exactamente.*

t.89 Anxo: *Entonces no tiene nada que ver con la reacción, lo único que hace es acelerarla* (refiriéndose al enzima). *La reacción sigue habiendo.*

- El enzima no reacciona.

t.99 Anxo: *Lo único que hacen es acelerarlo, no reaccionan.*

- El oxígeno se desprende porque se utiliza agua oxigenada para el experimento y no agua ‘normal’.

t.109 Antón: *Si tú lo echas* (enzima) *en un agua normal, no pasa nada, pero si lo echas* (enzima) *en una oxigenada, sí. Entonses en, en la oxigenada sube* (burbujeo).

t.119 Abel: [...] *O osíxeno que se atopaba na, en auga osixenada (...)*

- El oxígeno (del agua oxigenada) reacciona con el hígado dando agua y oxígeno.

t.121 Abel: (...) *reaccionou coa [...] o figado e[...] dando [...]*

t.124 Abel: [...] *dando auga e osíxeno.*

Estas pruebas teóricas son usadas para elaborar una prueba de 2º nivel con la que justifican la conclusión, esto es, que la función del enzima es acelerar la reacción, que el enzima no reacciona, si no que reacciona otra sustancia (diferente de la catalasa).

t.127 Anxo: (...) *O que reacciona non é a catalasa, senón outra substancia e a catalasa fai que aumente a velocidade de reacción.* [Prueba 2º nivel]

Además, justifican el hecho de que el oxígeno se desprende porque se utiliza agua oxigenada para el experimento y no agua ‘normal’, y que el oxígeno (del agua oxigenada) reacciona con el hígado produciendo agua y oxígeno.

Consideramos que estas pruebas que usan son apropiadas porque tratan de explicar la detención de las reacciones en este caso considerando al sustrato, aunque observamos que Antón (t.102 y t.104) se expresa señalando que el burbujeo producido en la reacción se debe a que el agua oxigenada tiene oxígeno ‘de más’, por lo que interpretamos que su comprensión sobre la composición química del agua oxigenada es deficiente, aunque se corresponde con una visión bastante adecuada de la reacción.

El TAP que representa este argumento se muestra en la figura 5.2, el cual presenta una estructura compleja, ya que además de los tres componentes esenciales del argumento, aportan un conocimiento teórico con el que respaldan sus justificaciones. Además, las pruebas que aportan son apropiadas, por lo que su calidad de argumentación es alta.



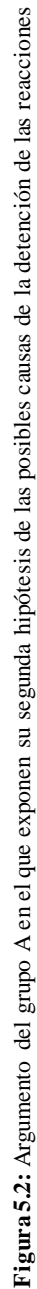


Figura 5.2: Argumento del grupo A en el que exponen su segunda hipótesis de las posibles causas de la detención de las reacciones

En el tercer argumento tratan de justificar por qué se detiene la reacción con la muestra de hígado (figura 5.3). En este argumento relacionan los datos implícitos de la Act.1, *la reacción se detiene, no hay burbujas*, con la conclusión, *se acabó el oxígeno del agua oxigenada* (Hip.A₂), aportando pruebas de tipo teórico, consideramos que son de tipo teórico porque no están comprobadas empíricamente:

t.149.2 Abel: *podemos facelo, pois introduciendo, figado na [...] na auga osixenada e cando pare de reaccionar introducímolo [...]*

t.151 Abel: *[...] noutra auga osixenada [...]*

t.154.1 Abel: *[...] para ver si segue reaccionando, si segue reaccionando*

Estas pruebas son apropiadas, pues justifican que la causa de la detención de la reacción es que se acabó el oxígeno contenido en el agua oxigenada, en el caso de que se produzca reacción al introducir el hígado (resto) en agua oxigenada (fresca). Es decir, esta prueba apela a que se agotó el sustrato.

Sin embargo, Anxo se opone al diseño propuesto por Abel, opinando que no se prueba nada con ese experimento, en el caso de que lo que se acabara fuera el agua oxigenada (Anxo, t.179) *O que poido ser é que se acabou a auga osixenada, e con eso non probas nada.*

A raíz de la pregunta de Antón (t.191) *Como sabemos que se acabou?* Abel elabora un contraargumento, con el que expone una condición de excepción al argumento principal (figura 5.3). En este contraargumento justifica la conclusión (Abel, 194.1) *acabouse a enzima*, indicando Abel (t.149.2, t.151 y t.194.2) *introducindo figado (resto) noutra auga osixenada non reacciona*. Con este contraargumento apoya la primera hipótesis formulada (Hip.A₁ “*se acabó el enzima catalasa*”). Consideramos que esta prueba también es apropiada puesto que es un esbozo de un experimento con el que comprobar cuál de los dos componentes detiene la reacción.

Para convencer a Anxo, Antón (t.204) propone un experimento que consiste en introducir una porción de hígado y patata (nuevos) en sendos tubos con líquido (resto), y observar si se produce reacción. En el caso de que se produzca reacción, obtendrían una prueba empírica con la que poder rechazar la hipótesis de Abel, Hip.A₂ “*se acabó el oxígeno del agua oxigenada*” y, por tanto, la Hip.A₁ “*se acabó el enzima*” quedaría confirmada. Esta propuesta de Antón la interpretamos como una refutación a la conclusión del argumento principal (figura 5.3). Además, sería una prueba apropiada, porque si se produce reacción al añadir enzima, en el

tubo con el líquido (resto), confirma que no se acabó el sustrato, pero sí el enzima, rechazando la conclusión del argumento principal (Abel, t.154.2) y aceptando la conclusión de la condición de excepción (Abel, 194.1).

t.204 Antón: *Mete [...] metemos ahí un poquito (hígado y patata) de nada [...] y a ver si reacciona y si reacciona es porque todavía existe oxígeno. [...]Entonces la hipótesis de que se la acabara el oxígeno al agua oxigenada es mentira.* [Refutación a Hip.A₂]

Dada la complejidad estructural del argumento que se representa en la figura 5.3 lo consideramos un argumento complejo al contener en su estructura además de los tres elementos principales una condición de excepción, en forma de argumento, y una refutación a la conclusión principal. De modo que se aprecia una pequeña mejoría en el discurso argumentativo de estos estudiantes. Asimismo, las pruebas que engloba son apropiadas, de tal manera que la calidad de este argumento es alta.



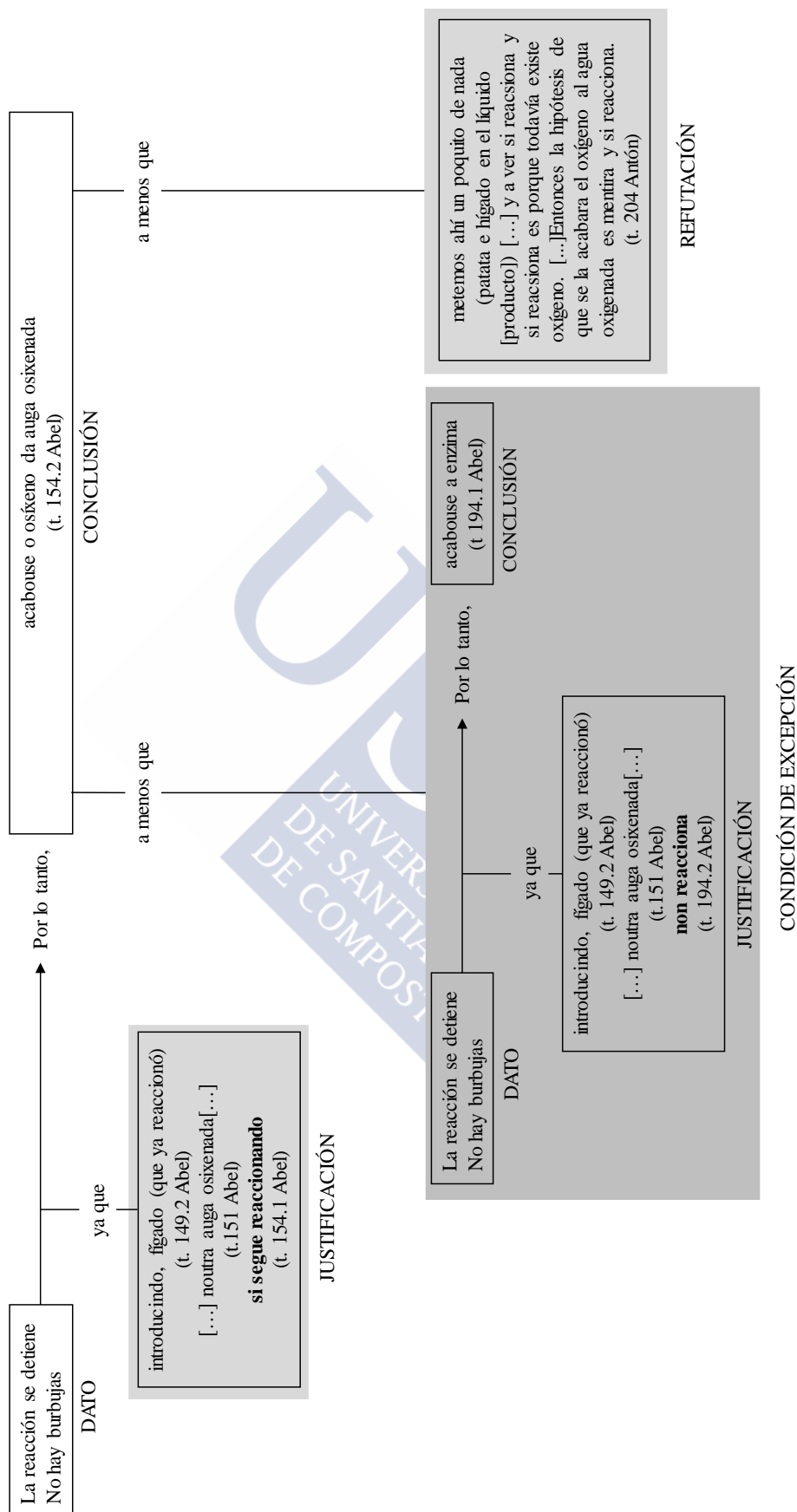


Figura 5.3: Representación del argumento en el cual explican las posibles causas por las que se detiene la reacción.

Al principio de este apartado, indicamos que a partir del discurso natural interpretamos tres argumentos relevantes para el análisis argumentativo. Así, partiendo de estos argumentos, inferimos dos líneas argumentativas que siguen los estudiantes para dar una explicación al motivo por el que se detienen las reacciones ocurridas en la Act.1. Estas líneas argumentativas están resumidas en la figura 5.4.

La primera línea argumentativa les lleva a formular su primera hipótesis Hip.A₁ “*se acabó el enzima catalasa*”, que consideramos que corresponde a la conclusión 1^{er} nivel, cuando observan que los tubos con los restos de las reacciones producidas en la sesión anterior no tienen burbujas, es decir, no hay reacción [dato]. Las pruebas a las que apelan para apoyar su hipótesis son de tipo teórico, y son aportadas por André (t.77) al indicar que, si se acabó el enzima, no reaccionará con agua oxigenada [justificación] debido a que es un catalizador [respaldo]. Consideramos que esta conclusión de 1^{er} nivel es coherente con el enunciado del problema planteado, ya que en caso de que se termine el enzima se detendrá la reacción y aunque se añada agua oxigenada (fresca) no reaccionará, explicando una posible causa de la detención de las reacciones. El argumento con el que se justifica la conclusión de 1^{er} nivel está representado en la figura 5.1.

La segunda línea argumentativa se infiere cuando formulan una segunda hipótesis Hip.A₂ “*se acabó el oxígeno del agua oxigenada*”. Esta hipótesis surge de los mismos datos, *la reacción se detiene, no hay burbujas*, sin embargo, apelan a diferentes pruebas para apoyarla. Las pruebas que usan para justificar la conclusión son de dos tipos: teóricas y empíricas. Apelando a pruebas teóricas justifican: a) la función del enzima es acelerar la reacción (Anxo, t.89), b) el enzima no reacciona (Anxo, t.99), c) el oxígeno se desprende porque se utiliza agua oxigenada para el experimento y no agua ‘normal’ (Antón, t.109), y d) el oxígeno (del agua oxigenada) reacciona con el hígado dando agua y oxígeno (Abel, t.119, t.121, t.124). Además, apoyándose en estas pruebas teóricas, convergen en una prueba de 2^o nivel con la que justifican que lo que reacciona es otra sustancia y no el enzima (Anxo, t.127). Apelando a pruebas empíricas, justifican que el oxígeno ‘de más’ del agua oxigenada se desprende, lo que se manifiesta en forma de burbujas (Antón, t.102, t.104). Consideramos que esta conclusión de 1^{er} nivel (Hip.A₂) es coherente con el enunciado del problema planteado, porque con ella explican una posible causa por la que se detienen las reacciones. El TAP con el que se justifica la conclusión de 1^{er} nivel (Hip.A₂ “*se acabó el oxígeno del agua oxigenada*”) referente a esta línea argumentativa está representado en la figura 5.2.

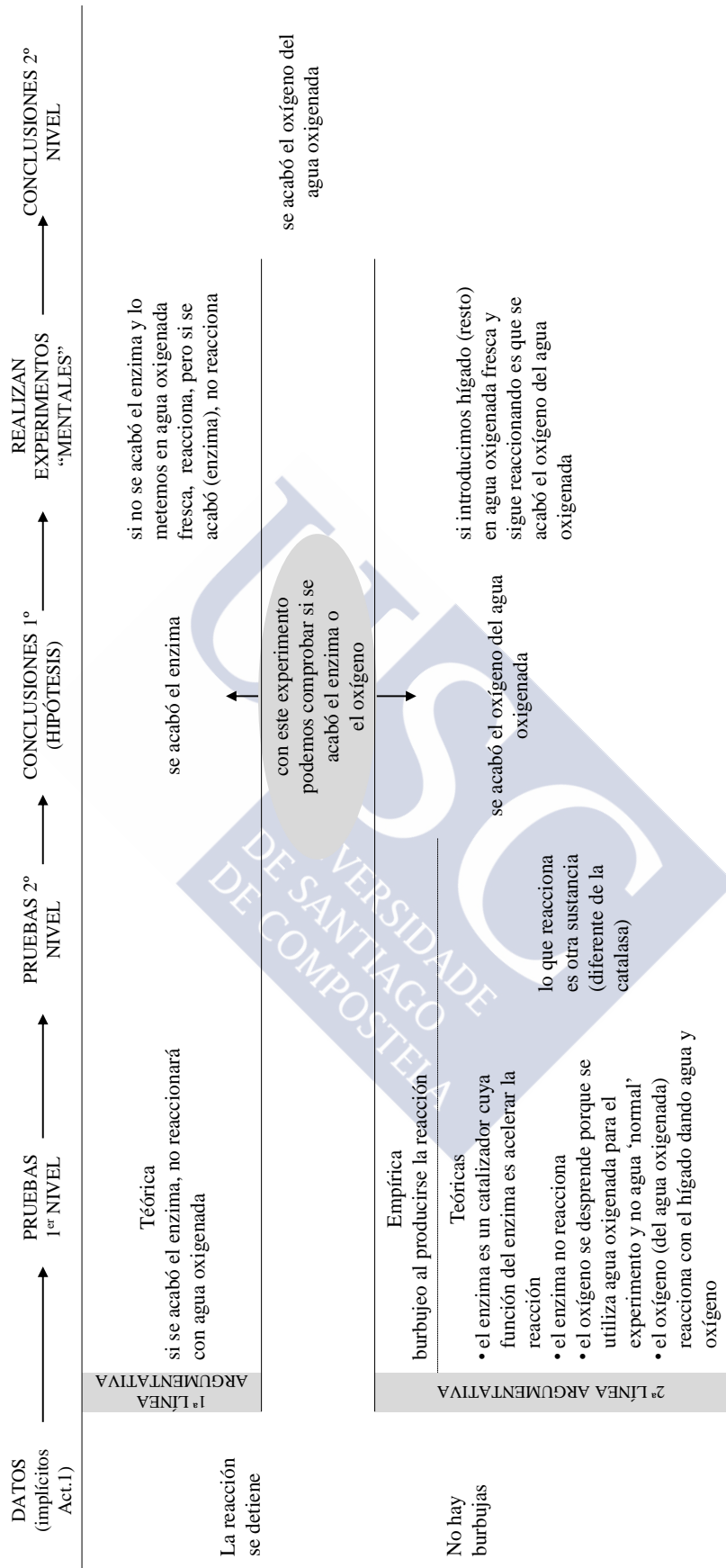


Figura 5.4: Líneas argumentativas que llevan al grupo A a la conclusión de que las reacciones se detienen porque se acabó el oxígeno del agua oxigenada

Siguiendo sus razonamientos, observamos que Abel propone un diseño experimental “mental” con el que apoya las conclusiones de 1^{er} nivel de las dos líneas argumentativas (figura 5.4, figura ovalada).

Como mencionamos anteriormente, Anxo duda de la validez de las pruebas experimentales “mentales” aportadas por sus compañeros, por lo que éstos intentan convencerlo. De esta manera al mismo tiempo que re-elaboran la hipótesis (Hip.A₂) y diseñan un experimento, exponiendo dos alternativas a la detención de las reacciones. La primera alternativa es la conclusión del argumento de Abel (figura 5.3), que continúa la segunda línea argumentativa. La segunda alternativa, constituye la condición de excepción de la conclusión principal del argumento (contraargumento) (figura 5.3), que prosigue la primera línea argumentativa. En ambas alternativas aportan una prueba experimental “mental”.

Sin embargo, Anxo sigue sin entender los diseños experimentales propuestos por sus compañeros, por lo que Abel le explica de forma más detallada la planificación de los mismos, señalando el material que utilizará en cada caso, para intentar que Anxo entienda lo que pretenden comprobar con esos experimentos,

t.245 Abel: *Si esto reacciona aquí [...]*

t.246 Anxo: *Ya [...]*

t.247 Abel: *Es que non, é que non se lle acabou a enzima [...]*

t.249 Abel: *[...]si estos, se non reaccionan é que a enzima se acabou.*

t.250 Anxo: *Xa, xa o sei.*

t.251 Abel: *Entón comprobamos as dúas cousas.*

Parece que Anxo queda convencido con esa explicación y consideran solucionado el problema, por lo tanto, deciden escribir el informe. Empiezan con el informe de la patata. Abel dicta a Anxo. Observamos que la hipótesis que formulan con relación a la patata es la Hip.A₁ “*se acabó la enzima catalizadora*” [conclusión 1^{er} nivel].

t.263 Abel: *Se parou de reaccionar porque a pataca se lle acabaron as enzimas catalizadoras [...]*

t.264 Antón: *No, debería de reaccionar*

Una vez que redactan la hipótesis para la muestra de la patata, exponen lo que creen que va a pasar cuando realicen su experimento “*Se parou de reaccionar a pataca coa auga osixenada*”

(H₂O₂) debido a que se acabou a encima catalasa, entón se introducimos un anaco de pataca, que anteriormente reaccionara coa auga osixenada, e parou de reaccionar, en auga osixenada que aínda non reaccionou con nada, a pataca non reaccionará” (informe Act.3, 1^{er} párrafo), es decir, van a intentar contrastar la Hip.1 “*se acabou el enzima*”.

Sin embargo, la hipótesis que redactan en el informe del hígado es la contraria, es decir, Hip.A₂ “*se acabou el oxígeno del agua oxigenada*” como podemos observar en la transcripción de lo que escribieron en el informe de la Act.2 ““*¿Por qué paró la reacción con el hígado?*”, “*Se introducimos un anaco de fígado, que reaccionara anteriormente con auga osixenada e parou de reaccionar, en auga osixenada; entón, se se acabou o osíxeno da auga osixenada, da auga osixenada coa que o fígado reaccionara anteriormente; logo, o fígado que parara de reaccionar voltará a reaccionar de novo coa auga osixenada do novo tubo de ensaio*” (informe Act.2, 1^{er} párrafo).

Después de realizar los experimentos, y observar que se cumplen sus predicciones para la Hip.A₂, pero no para la Hip.A₁ [deberían aceptarla para la muestra de patata, pero posiblemente por una contaminación del tubo de ensayo se produjo reacción al introducir patata (resto)], aceptan la Hip.A₂, llegando a la conclusión de 2º nivel, *se acabou el oxígeno del agua oxigenada*, convergiendo ambas líneas argumentativas en una sola.

Cuando analizamos la calidad de las líneas argumentativas que siguen los estudiantes para explicar el problema, observamos que, dado que las pruebas que emplean en la argumentación son apropiadas, consideramos que son adecuadas al enunciado del problema.

5.1.2. El proceso de indagación

El proceso de indagación llevado a cabo por el grupo A se analiza siguiendo las etapas de investigación según el proyecto APU, con lo cual se elabora la figura 5.5 que resume el éste proceso en el grupo A.

Consideramos que estos estudiantes perciben el problema desde el comienzo de la actividad, y que entienden que lo que deben investigar es el motivo por el cual se detienen las reacciones (Anxo, t.15) *Pillar [...] esto [hígado (producto) y patata (producto)] y ponerlo en agua oxigenada.*

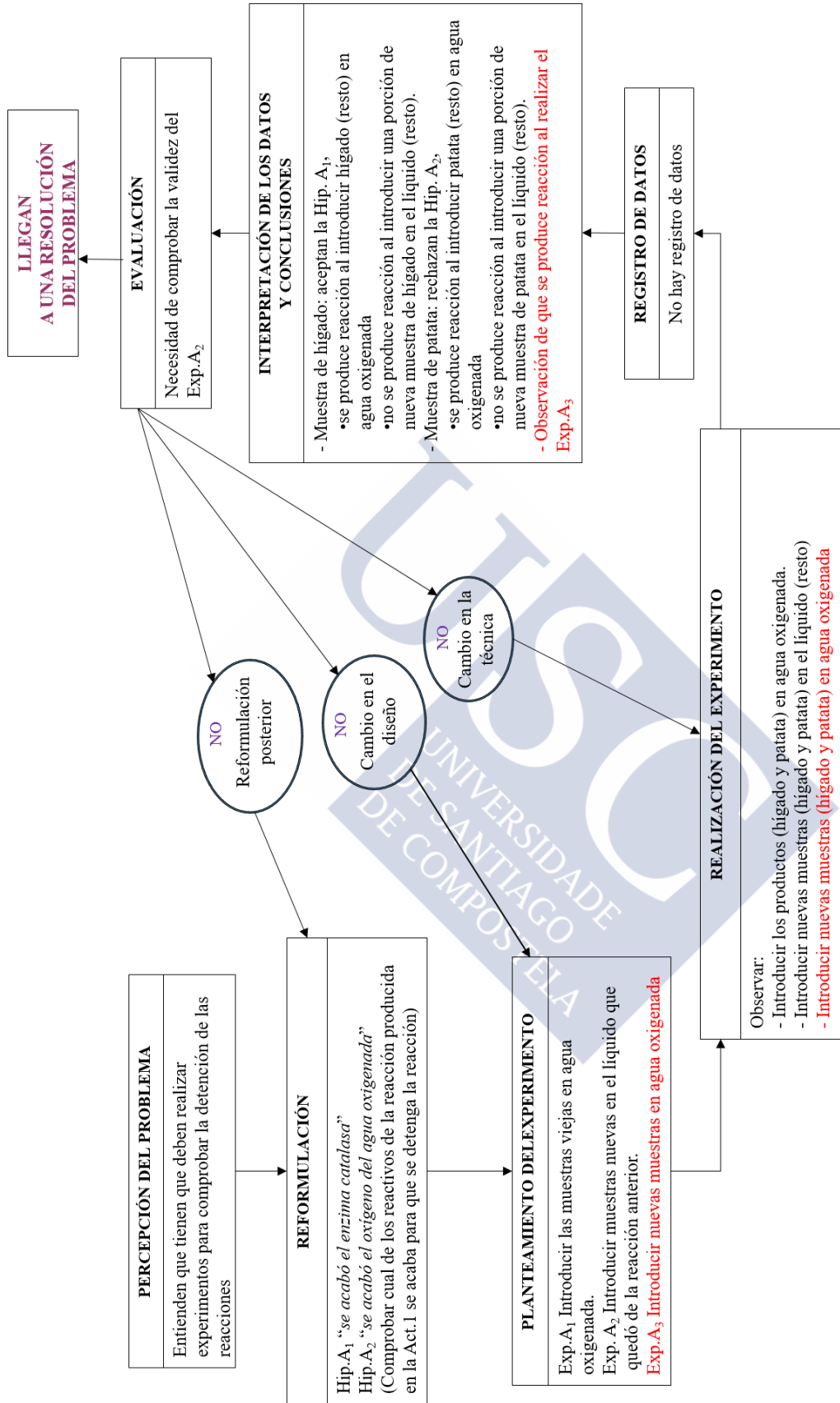


Figura 5.5: Representación del proceso de indagación del grupo A para la resolución del problema interpretado a partir de las etapas de investigación del proyecto APU. El color rojo indica los pasos que realizan tras evaluar el procedimiento de indagación

Cuando re-formulan el problema, como ya se ha comentado, aportan dos posibles causas que configuran sus hipótesis de partida, una con relación a la patata y otra con relación al hígado. A estas hipótesis las denominamos:

Hip.A₁ “*se acabó el enzima catalasa*”, formulada para la reacción ocurrida con la muestra de la patata (Anxo, t.75) *Acabouse o, o enzima catalasa* y (Anxo, t.77) *E si se acabou a enzima catalasa, logo non [...] reaccionará coa auga osixenada*.

Hip.A₂ “*se acabó el oxígeno del agua oxigenada*”, formulada para la reacción ocurrida con la muestra de hígado (Abel, t.91) *Pode ser que se acabara o osíxeno da auga osixenada [...] que se transformara en auga*.

A la hora de establecer las condiciones en las que van a realizar sus experimentos, es decir, cuando se plantean el experimento que van a realizar, observamos que identifican dos variables implicadas en sus experimentos, a) “el oxígeno se acaba” y b) “el enzima se acaba”. También observamos que al diseñar los experimentos son ellos los que ejercen el control sobre esas variables, tal y como se comenta a continuación.

Para comprobar las hipótesis formuladas, Abel propone un diseño experimental,

t.149 Abel: *O que podemos facer é comprobar si é auga osixenada [...]ou a catalasa é que se acaba, podemos facelo, pois introducindo, figado na [...] na auga osixenada e cando pare de reaccionar introducímolo [...]*

t.151 Abel: *[...] noutra auga osixenada [...]*

t.154 Abel: *[...] para ver si segue reaccionando, si segue reaccionando é que se acabou o osíxeno da auga osixenada [...] Entendes?*

Este diseño implica realizar los pasos desde el principio de la Act.1 Abel ayudado por sus compañeros, rediseña el experimento partiendo de los productos obtenidos en la Act.1.

De esta forma, el grupo diseña dos experimentos, que se resumen en la figura 5.6, controlando ambas variables: “se acaba el oxígeno del agua oxigenada” (como indican ellos) y “se acaba el enzima”. A su primer diseño lo denominamos,

Exp.A₁ “*Introducir las muestras viejas (hígado y patata) en agua oxigenada*”.

El cual consiste en introducir los restos de hígado y patata en sendos tubos de ensayo que contienen agua oxigenada (fresca) y observar qué sucede.

Y a su segundo diseño lo denominamos,

Exp.A₂ “Introducir muestras nuevas en el líquido que quedó de la reacción del día anterior”.

Que consiste en introducir el líquido (resto) de ambas reacciones en sendos tubos de ensayo y añadir, una porción de nueva muestra de hígado, al que tenía la muestra de hígado; y una porción de nueva muestra de patata, al que tenía la muestra de patata, y observar qué sucede.

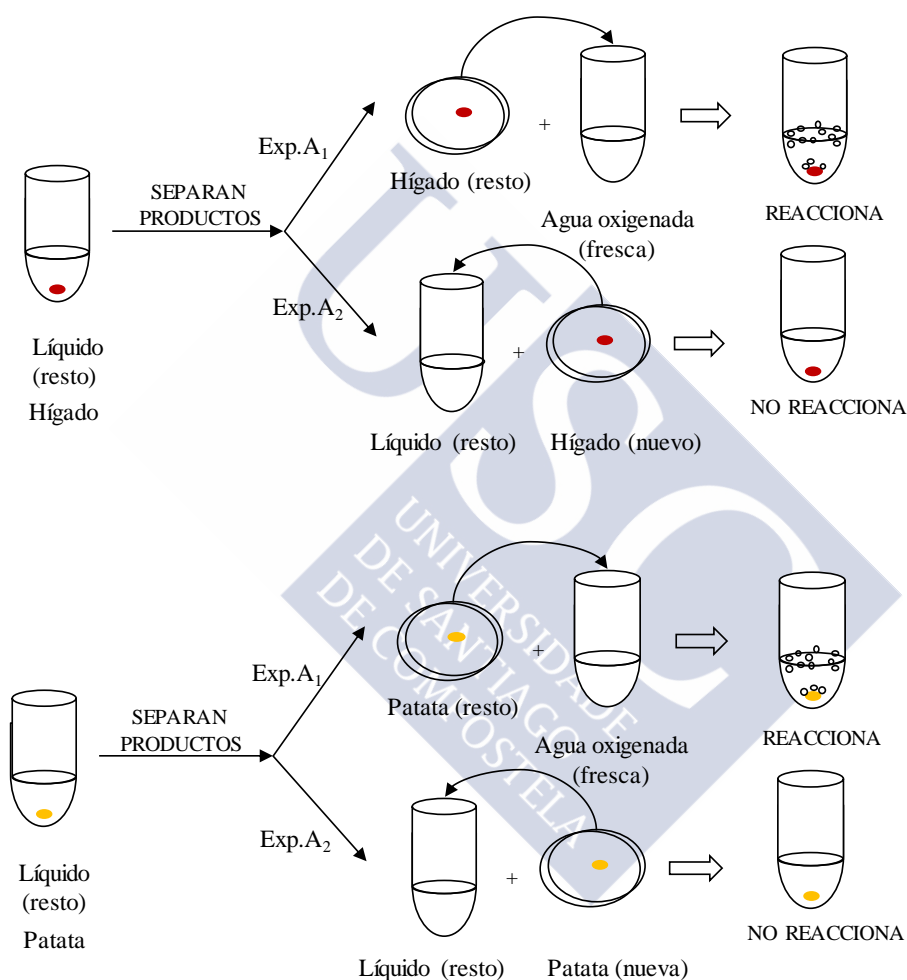


Figura 5.6: Procedimiento de los experimentos realizados por el grupo A para demostrar la causa por la que se detienen las reacciones del agua oxigenada con el hígado y con la patata.

Para ejecutar sus experimentos, empiezan preparando el material, separan la patata (resto) y la introducen en un tubo de ensayo con agua oxigenada (fresca) para realizar el Exp.A₁. Observan que se produce reacción. El líquido (resto), separado de la patata, lo introducen en un tubo de ensayo y lo reservan.

A continuación, separan el hígado (resto) del líquido (resto), y realizan el mismo experimento que el que hicieron con la patata. Observan lo que ocurre. Discuten si se produce reacción o no, Anxo y André consideran que sí se produce, incluso Anxo indica que es una reacción muy rápida. Sin embargo, Antón considera que no se produce reacción e intenta mostrar que las burbujas que ve en el tubo son de “algo”, pero no indica de dónde provienen, como se puede observar en las siguientes intervenciones.

t.443 Anxo: *¡Dios! Que rápido va. Para que luego digas que este [...]*

t.444 Antón: *No, no, no, no reaccionó.*

t.445 Estudiante: *Ay, no*

t.446 Antón: *No reaccionó ahora.*

t.447 Adrián: *Ya verás como (...)*

t.448 Antón: *La burbuja que tiene no es de [...]*

t.449 André: *Sí que reaccionó*

t.450 Antón. *Que no, que no reaccionó, que las burbujillas esas son de [...]*

t.451 Anxo: *Y casi acabó*

t.452 Adrián: *Y ¿la reacción es esto?*

t.453 Anxo: *Sí que reaccionó [...] y ya acabó.*

Con esta última intervención de Anxo, dan por concluida la discusión, llegando al acuerdo de que se produce reacción al unir el hígado (resto) con el agua oxigenada (fresca).

El siguiente paso es realizar el Exp.A2, que consiste en introducir hígado (nuevo) en el líquido, producto de la reacción con la muestra de hígado, y patata (nueva) en el líquido, producto de la reacción con la muestra de patata.

t.484 Abel: *Ahora introducir el nuevo en la [...]*

t.486 Abel: *[...] en el agua oxigenada usada.*

t.487 Adrián: *Agua de [...] de hígado y agua de patata.*

Primero introducen el hígado (nuevo) en el líquido (resto) e inmediatamente, introducen la patata (nueva) en el líquido (resto). Observan lo que ocurre e indican que no se produce ninguna reacción (Adrián, t.514) *No reacciona*, a pesar de que Abel perciba que sí se produce reacción (Abel, t.530) *Sí que reacciona*, en el caso del hígado, pero, el resto del grupo, no tiene en cuenta este comentario.

Mientras tratan de llegar a los resultados, hablan todos al mismo tiempo y Anxo vuelve a exponer que con ese experimento no prueban nada. La explicación que da es que tanto la muestra de hígado como la de patata son ‘viejos’ (Anxo, t.526) *Ya, porque estos son viejos.* (Anxo, t.528) *Lo que pudo pasar es que en los viejos no reacciona y [...]*, como ya explicó en otra ocasión (Anxo, t.201) *Es viejo, en el viejo ya no hay enzimas*, y concluye que lo único que pueden probar es que se acabó el oxígeno, y eso lo probaron en el anterior experimento (Exp.A₁), cuando introdujeron las muestras de hígado y patata (restos) en agua oxigenada (fresca) (Anxo, t.540) *así no probamos nada, sólo probamos que los anteriores lo único que pasó es que se acabó el, el [...]* (Anxo, t.542) *[...] oxígeno. Pero Abel refuerza su conclusión interpretado los datos empíricos obtenidos de sus experimentos* (Abel, t.544) *Probamos [...]* (Abel, t.546) *[...] que se acabó el oxígeno del agua oxigenada.*

Anxo sigue intentando justificar que 1) sólo pueden demostrar algo con sus dos primeros experimentos (t.540 y t.542), y 2) el motivo por el que cree que no reaccionan los líquidos (restos) con las nuevas muestras tanto de hígado como de patata, exponiendo que al liberarse todo el oxígeno de la reacción no importa que las muestras contengan enzima, porque ya no reaccionarán, (Anxo, t.547) *Mira, en ese sí, a ver, con eso ya sólo probamos esto, pero en esto [...] no probamos nada, tenía que ser en uno nuevo, porque aquí al no haber oxígeno, éste tenga o no tenga enzima ya no puede reaccionar.*

Sus compañeros intentan convencerlo de que los experimentos que realizaron, prueban que se acabó el oxígeno desprendido en la reacción, puesto que las muestras, tanto de hígado como de patata, se las acababa de dar la investigadora (André, t.555) *El enzima nos lo acaban de dar*, es decir, son nuevas.

Por lo que, Antón termina concluyendo, (Antón, t.566) *Se acabó el oxígeno [...]* (Antón, t.568) *[...] que tenía de más, el agua.*

Los datos que obtienen de los resultados de sus experimentos no son registrados ni en gráficas ni en tablas, simplemente indican en el informe escrito si se produce reacción o no. Interpretando los datos observados llegan a las siguientes conclusiones:

1. En el caso de la reacción con la muestra de patata: rechazan la Hip.A₁ “*se acabó el enzima catalasa*”. Cuando realizan el Exp.A₁ “*Introducir las muestras viejas (hígado y patata) en agua oxigenada*” observan que se produce reacción al introducir patata

(resto) en agua oxigenada (fresca) (Anxo, t.361) y, cuando realizan el Exp.A₂ “Introducir muestras nuevas en el líquido que quedó de la reacción del día anterior” observan que no se produce reacción al introducir una porción de nueva muestra de patata en el líquido (resto) (Adrián, t.514).

2. En el caso de la reacción con la muestra de hígado: aceptan la Hip.A₂ “se acabó el oxígeno del agua oxigenada”. Cuando realizan el Exp.A₁ observan que se produce reacción al introducir hígado (resto) en agua oxigenada (fresca) (Anxo, t.453) y, cuando realizan el Exp.A₂ observan que no se produce reacción al introducir una porción de nueva muestra de hígado en el líquido (resto).

La evaluación de los resultados se lleva a cabo cuando Anxo muestra su inconformidad con las pruebas, pues según él no confirman totalmente sus hipótesis (Anxo, t.547) *Mira, en ese sí, a ver, con eso ya sólo probamos esto, pero en esto [...] no probamos nada, tenía que ser en uno nuevo, porque aquí al no haber oxígeno, éste tenga o no tenga enzima ya no puede reaccionar*. Con esta intervención interpretamos que Anxo necesita poner a prueba el Exp.A₂. Por tanto, deciden realizar un último experimento para comprobar si las nuevas muestras de hígado y patata contenían realmente enzima, Exp.A₃ “Introducir muestras nuevas en agua oxigenada”, es decir, deciden repetir la experiencia realizada en la Act.1. Para ello, utilizaron dos tubos de ensayo que contenía una cantidad de agua oxigenada (fresca) y en uno introdujeron una porción de nueva muestra de hígado y en otro una porción de nueva muestra de patata. En el esquema de las etapas de investigación (figura 5.4) aparece, representado en color rojo, lo referente a esta evaluación (planteamiento y realización del experimento y la interpretación de los datos y conclusiones).

t.613 Anxo: *En nuestro caso, nosotros metimos [...]*

t.614 Adrián: *Porque, porque [...]*

t.615 Anxo: *[...] el viejo en agua [...] oxigenada nueva [...]*

t.617 Anxo: *[...] (...) que esto tiene enzima, pero, o caso é que non o podemos probar, porque nos chegamos e collemos o fígado vello e introducímolo en auga osixenada nova [...]*

t.618 Antón: *Y reacciona.*

t.619 Anxo: *[...] o que proba que non reacciona porque non había osíxeno. Entón, ao introducir vello, teña ou non teña enzima, non podemos probar nada.*

Realizan el Exp.A₃ y observan que ambos reaccionan. En este momento dan por validada su hipótesis (Hip.A₂ “*se acabó el oxígeno del agua oxigenada*”) como indica Anxo en su intervención t.812, después de observar que las muestras nuevas reaccionan con agua oxigenada fresca. De esta manera llegan a una resolución del problema planteado.

t.805 Anxo: *¡Vale! Sí, tenía catalasa (...)* [...]

t.806 Antón: *Mira que rápido reacciona.*

t.807 Anxo: *¡Eeeh! Conclusión [...]*

t.809 Anxo: [...] *a ver, sí, reaccionó, tiene catalasa, entonces lo que pasó, es que se que[...] se quedó sin oxígeno[...]*

t.810 André: *Y la patata, también.*

t.811 Antón: *¿O no visteis?*

t.812 Anxo: *Si ya, pero, es que, de esa manera podíamos probarlo. ¿Sabes?*

Analizando la calidad del proceso de indagación, observamos que para resolver el problema plantean experimentos diferentes al realizado en la Act.1, es decir, planifican experimentos nuevos, los cuales se asemejan bastante al referencial aunque tratan por separado el líquido (resto) y las muestras de patata (resto) y de hígado (resto). Las hipótesis que formulan son pertinentes para resolver el problema. Además, utilizan la experiencia de la Act.1 para comprobar que las muestras aportadas, para la realización de la indagación, contenían enzima. Por todo esto, consideramos que el proceso de indagación del grupo A es de una calidad alta siguiendo las consideraciones indicadas (tabla 3.3). Sin embargo, debido a causas que desconocemos, los resultados que obtienen en relación a la muestra de patata no coinciden con el referencial; probablemente se debe a una contaminación del material a partir de una muestra fresca, previsiblemente del hígado.

5.1.3. El proceso de modelización

Finalmente, analizamos el proceso de construcción del modelo de interacción enzima-sustrato, representado en la figura 5.7, y el uso del modelo en el grupo A.

Como ya se ha comentado, conciben el objetivo de la tarea, esto es entienden que deben elaborar un modelo que les permita explicar las causas por las que se detienen las reacciones enzimáticas, aunque en ningún momento se les mandó que elaboraran un modelo, ni se les indicó que debían aplicar el modelo escolar.

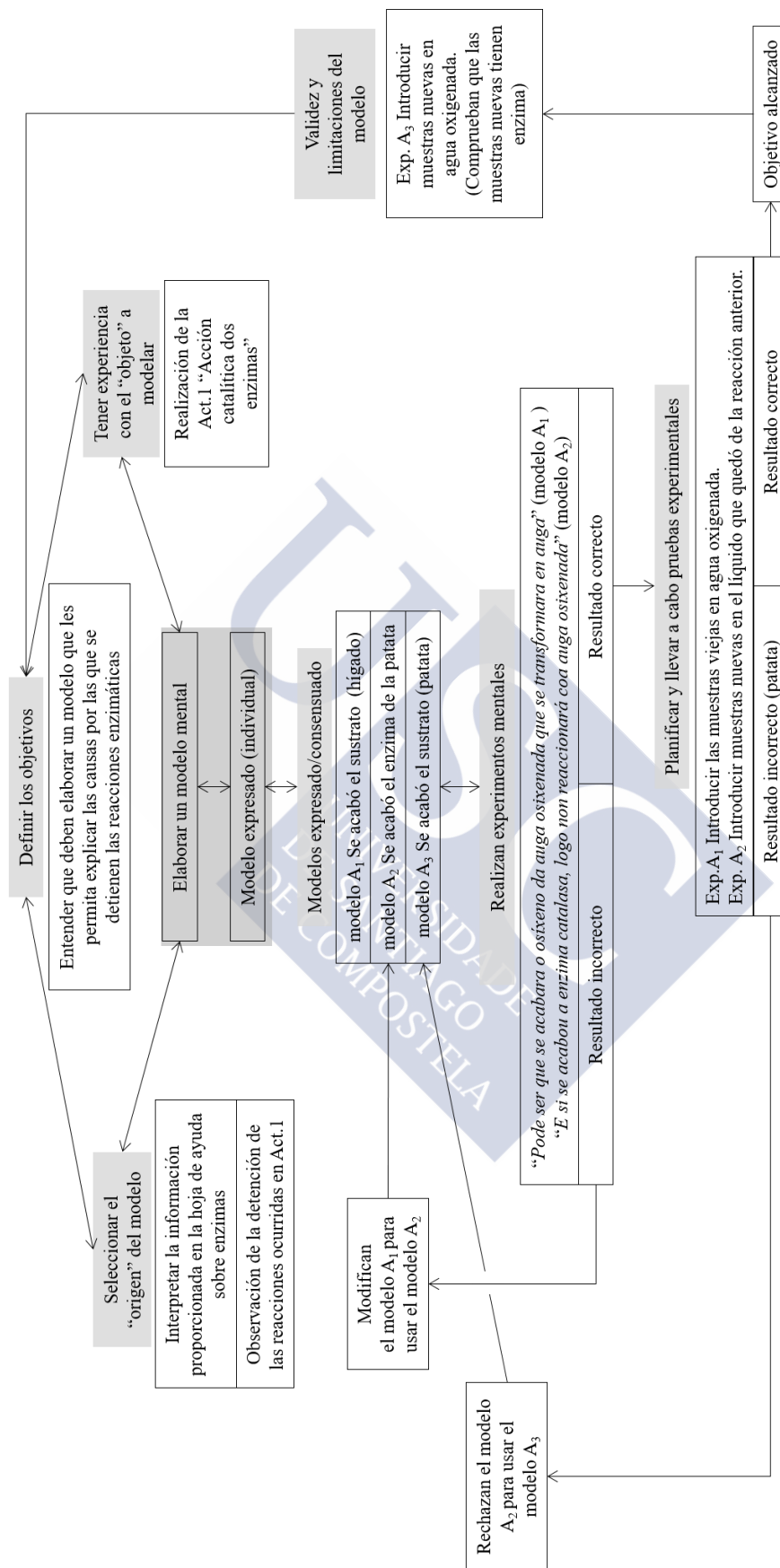


Figura 5.7: Proceso de modelización del grupo A mientras realizan la actividad

Parten de la experiencia con la actividad enzimática tomada durante la realización de la Act.1 “*Acción catalítica de los enzimas*”. Para describir el objeto a modelar, como indican Justi y Gilbert (2002), necesitan seleccionar aspectos de la realidad que les permitan dicha selección, estos son 1) la observación de que las reacciones se detienen después de un tiempo (dato empírico), y 2) la interpretación de los datos aportados en la hoja de ayuda referentes a la actuación de los enzimas y sus propiedades (datos de la hoja de ayuda). Interpretamos que elaboran *modelos mentales*, ya que los explicitan verbalmente, transformándolos en *modelos expresados*, los cuales reconstruimos a partir de sus argumentos y con sus justificaciones, nos demuestran que intentan determinar las causas por las que se detienen las reacciones. Cuando llegan a un acuerdo, de sus modelos expresados, podemos considerar que elaboran un *modelo consensuado*.

Así, el primer estudiante que propone una causa a la detención de las reacciones es Anxo (t.75) *Acabouse o, o enzima catalasa*, apoyada por André (t.77) *E si se acabou a enzima catalasa, logo non [...] reaccionará coa auga osixenada*. Como ya comentamos en el apartado de argumentación, Anxo descarta esta posibilidad y, entonces Abel propone el primer modelo que identificamos, relacionado con la reacción del hígado.

t.91 Abel: *Pode ser que se acabara o osíxeno da auga osixenada [...] que se transformara en auga.*

t.119 Abel: *[...] O osíxeno que se atopaba na, en auga osixenada, hache dous o dous.*

t.121 Abel: *(...) reaccionaou coa [...] o figado e [...] dando [...]*

t.124 Abel: *[...] dando auga e osíxeno.*

Comparando el modelo de los estudiantes con el modelo escolar, podemos apreciar que en el modelo A₁ “*Se acabó el oxígeno del agua oxigenada*”, la explicación que dan a la causa por la que se detiene la reacción es debida a que se termina el sustrato (agua oxigenada). Consideramos que este primer modelo parte de un modelo expresado en primera instancia por Abel y aceptado por todo el grupo, lo interpretamos a partir del argumento representado en la figura 5.1, con el que expresan su modelo A₁ (figura 5.8). Para comprobar si este modelo les permite dar respuesta al problema realizan experimentos mentales, que explicitan en su discurso, en los cuales explican lo que creen que ocurrirá cuando los lleven a cabo.

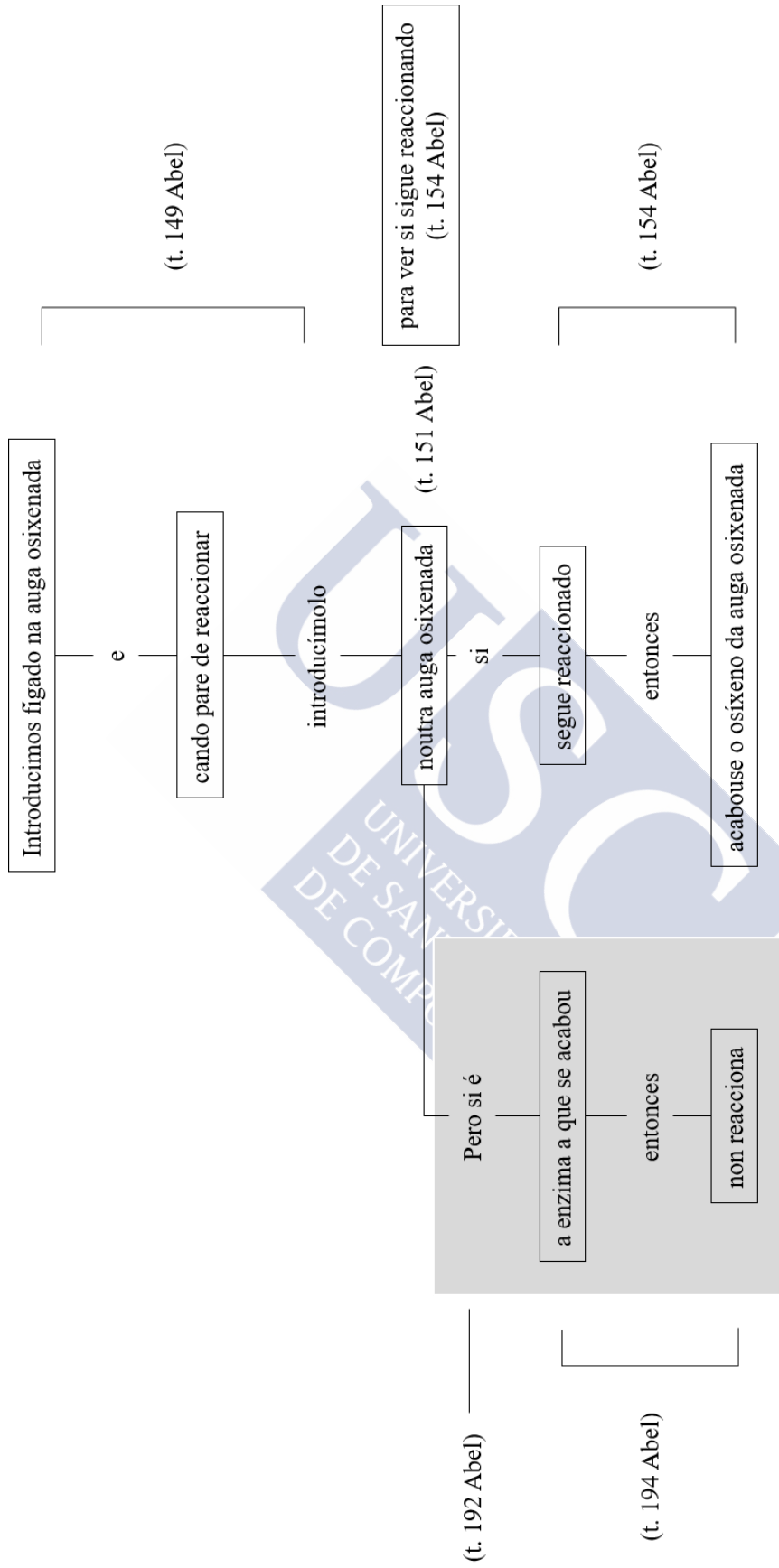


Figura 5.8: Representación del modelo A_1 : “Se acabó el oxígeno del agua oxigenada” (expresado por Abel) y de su modificación en el modelo A_2 “se acabó el enzima catalasa” (en recuadro gris)

En el momento en el que Abel añade un “pero” en su discurso (Abel, t.192 y Abel, t.194), realiza un experimento mental en el que incluye al enzima, llevándole desechar el modelo A₁ “*Se acabó el oxígeno del agua oxigenada*”, por lo que lo modifica y genera un nuevo modelo que denominamos modelo A₂ “*se acabó el enzima catalasa*” (Figura 5.8). En su razonamiento considera que la reacción se detiene cuando uno de los dos componentes se termina, es decir, la reacción se detiene cuando se termina el sustrato o cuando se termina el enzima.

Cuando consideran que tienen el problema resuelto, es decir, consideran que sus experimentos (mentales) expresados son correctos, planifican y llevan a cabo sus pruebas experimentales, es decir, pasan a la siguiente fase de la construcción de modelos. Los diseños que realizaron plantean un experimento doble, ya comentado en el apartado anterior, estos son: Exp.A₁: “*Introducir las muestras viejas (hígado y patata) en agua oxigenada*” y Exp.A₂: “*Introducir muestras nuevas en el líquido (resto) que quedó de la reacción del día anterior*”.

Los resultados que obtienen con relación al Exp.A₁, les lleva a aceptar el modelo A₁ “*Se acabó el oxígeno del agua oxigenada*”, en el caso de la reacción con el hígado, ya que al introducir el hígado (resto) en agua oxigenada (fresca) se produce reacción. Sin embargo, este experimento, en el caso de la reacción con la patata, les lleva a rechazar el modelo A₂ “*se acabó el enzima catalasa*”, ya que al introducir la patata (resto) en agua oxigenada (fresca), también se produce reacción. La observación de un resultado incorrecto (patata), les lleva rechazar el modelo A₂, y a reelaborar su modelo mental, modificando el modelo A₂ en un tercer modelo que denominamos modelo A₃ “*se acabó el sustrato (patata)*”.

Así, identificamos tres modelos consensuados:

modelo A ₁ “ <i>Se acabó el oxígeno del agua oxigenada</i> ”	[HÍGADO]
---	----------

modelo A ₂ “ <i>se acabó el enzima catalasa</i> ”	[PATATA]
--	----------

modelo A ₃ “ <i>se acabó el sustrato</i> ”	[PATATA]
---	----------

A la vista de los resultados obtenidos en los experimentos, Anxo expone que el segundo experimento que realizaron no les lleva a la conclusión de aceptar los modelo A₁ y modelo A₃, porque no saben si las muestras que utilizaron en el Exp.A₂ contienen enzima, observamos cómo expone sus dudas en las siguientes intervenciones y cómo sus compañeros intentan convencerlo de que sí tienen enzima.

t.582 Anxo: *Atiende [...] En el del hígado [...] cuando lo introducimos empezó a reaccionar. [...] Hoy llegamos y ya no estaba reaccionando[...] lo sacamos y lo metimos en una, en agua oxigenada [...] que tenía[...]*

t.583 Adrián: *Y reacciona.*

t.584 Anxo: *que[...] Y reacciona, ¡Vale![...] Entonces lo que quiere decir*

t.585 André: *Que seguía teniendo enzima.*

t.588 Anxo: *Lo que se acabó fue el oxígeno. Entonces [...] si en éste se acabó el oxígeno[...]*

t.589 Abel: *No reacciona.*

t.590 Anxo: *[...] haya o no hay enzima, no reacciona.*

t.591 Abel: *Pero hay enzima, por eso es unn[...] hígado[...]*

t.592 Anxo: *Este es viejo, no sabes[...]*

Tanto Abel como Antón intentan convencer a Anxo de que sus experimentos prueban que la muestra de hígado, que utilizaron el día anterior, aún tenía enzimas, y que con su experimento comprobaron que se acabó el agua oxigenada, como podemos observar en sus intervenciones.

t.605 Abel: *Tiene enzima, sí lo comprobamos, es que, es que se acabó el agua oxigenada en él.*

t.606 Antón: *Sí. Se acabó el agua oxigenada [...]*

t.608 Antón: *Se convirtió en simple agua, hache dos o.*

t.609 Abel: *Se convirtió en agua.*

t.610 Antón: *Se convirtió en hache dos o, en vez de hache dos o dos.*

Anxo sigue opinando que no pueden probar que las muestras nuevas tengan enzimas, puesto que si no hay oxígeno en el líquido (resto), aunque los hubiera, no se puede saber.

t.613 Anxo: *En nuestro caso, nosotros metimos[...]*

t.615 Anxo: *[...] el viejo en agua [...] oxigenada nueva[...]*

t.617 Anxo: *... que esto tiene enzima, pero, o caso é que non o podemos probar, porque nos chegamos e collemos o fígado vello e introducímolo en auga osixenada nova[...]*

t.619. Anxo: *[...] o que proba que non reacciona porque non había osíxeno. Entón, ao introducir vello, teña ou non teña enzima, non podemos probar nada.*

Por tanto, a pesar de que los resultados de los experimentos realizados les indiquen que llegan a obtener un resultado correcto (siguiendo la nomenclatura del MMD), deciden comprobar la

validez de sus modelos realizando un último experimento que denominamos Exp.A₃ “Introducir muestras nuevas (hígado y patata) en agua oxigenada”, que propone Antón (Antón, t.602) *Si lo metemos[...]* y (Antón, t.604) *[...]si lo metemos en una de agua oxigenada reacciona*, el cual consiste en realizar una prueba para comprobar si las muestras aportadas en esta sesión contienen enzimas (experiencia de la Act.1 “Acción catalítica dos enzimas”). Unas intervenciones posteriores Anxo expone que hay que comprobar si las muestras nuevas tienen enzima, (Anxo, t.644) *[...] lo hay que probar*. Después de realizar este experimento, obtienen un resultado positivo de la prueba, se produce reacción, por lo que Anxo queda convencido de que las muestras nuevas tienen catalasa y así lo indica, como podemos observar en las siguientes intervenciones.

t.809 Anxo: *[...] a ver, sí, reaccionó, tiene catalasa, entonces lo que pasó, es que se que[...]* se quedó sin oxígeno [...]

t.818 Anxo: *Sí reaccionan dos, ¡vale! Tienen catalasa. [...]* Entón [...]

Por lo tanto, vemos que validan su modelo para explicar la detención de las reacciones.

Con relación al uso del modelo en el informe, consideramos que lo usan de forma adecuada, es decir, el modelo que elaboran es bastante acorde con el modelo escolar que pretendíamos que comprendieran y utilizaran. En su modelo están representados los enzimas, los sustratos y los productos, pero en ningún momento mencionan el complejo enzima-sustrato en la elaboración de dicho modelo. En la figura 5.9 podemos observar una representación de la comparación de los modelos usados por el grupo A con el modelo escolar. A la izquierda de la figura, representamos el modelo consensuado con relación a la reacción que ocurre cuando el hígado se introduce en un tubo de ensayo con agua oxigenada, a la derecha aparece representado el modelo consensuado de la reacción ocurrida al introducir patata en agua oxigenada y en el centro de la figura representamos los componentes incluidos en el modelo escolar y las correspondencias, indicadas con flechas de doble sentido, con las sustancias implicadas en los modelos usados por el grupo A. En el modelo escolar se representa en color rojo los componentes que no usan en la elaboración de su modelo.

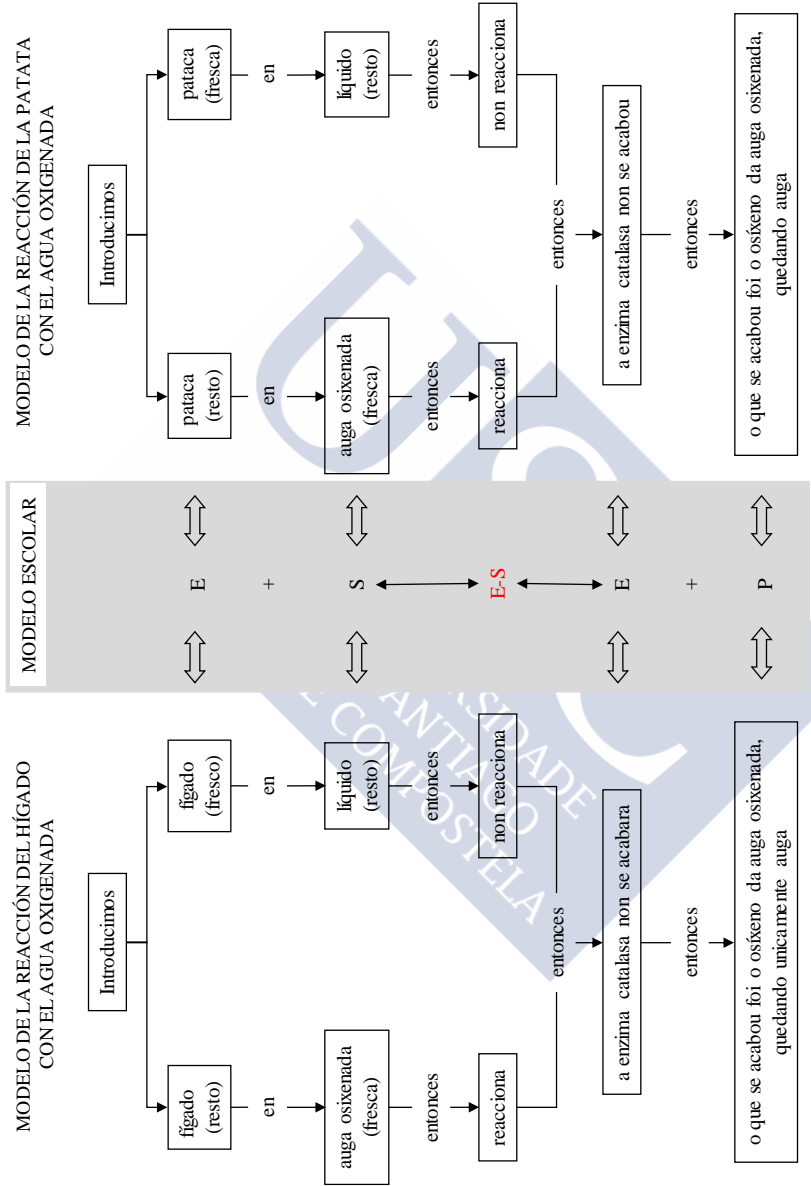


Figura 5.9: Comparación de los modelos consensuados por el grupo A, en su informe, con el modelo escolar. En rojo se indican los componentes que no utilizan en la elaboración el modelo.

Cuando analizamos el progreso en el uso del modelo, observamos que construyen tres modelos y que son capaces de modificarlos, o rechazarlos, cuando consideran que con ellos no pueden dar una explicación a la detención de las reacciones. Por esto, consideramos que sí hay un progreso en el uso del modelo y también en la adecuación del mismo al modelo referencial, aunque no consideran la fase intermedia del proceso en la que el sustrato está unido al enzima formando el complejo enzima-sustrato emplean todos los elementos imprescindibles del modelo escolar.

5.1.4. Discusión y conclusiones parciales del grupo A

En este apartado damos respuesta a las preguntas de investigación a partir del análisis de los resultados obtenidos del grupo A.

1ª pregunta de investigación: *¿Cuál es la calidad de los argumentos que emplean los estudiantes en la resolución del problema?*

En el caso de este grupo, a partir de su discurso natural reconstruimos tres argumentos trascendentes para la resolución de la tarea. En el primero, en el que exponen su primera hipótesis, determinan que la causa de que se detengan las reacciones es Hip.A₁ “*se acabó el enzima catalasa*”, la prueba con la que apoyan dicha conclusión la consideramos de tipo teórica, con la que justifican que, si no hay enzima porque ésta se acaba, entonces no reaccionará con el agua oxigenada. Por tanto, consideramos que la prueba integrada en la justificación que relaciona los datos, *la reacción se detiene, no hay burbujas*, con la conclusión, *se acabó el enzima* es apropiada. El segundo argumento, con el cual formulan su segunda hipótesis, parte de los mismos datos para llegar a la conclusión Hip.A₂ “*se acabó el oxígeno del agua oxigenada*”, en este caso exponen que lo que se termina en la reacción es el oxígeno. Para apoyar esta conclusión, utilizan pruebas empíricas, obtenidas de la observación de que al añadir una muestra con enzima en un tubo con agua oxigenada se produce burbujeo, y pruebas teóricas, pues indican que el agua oxigenada se descompone produciendo agua y oxígeno, y que, además, la función del enzima es acelerar la reacción. Por tanto, consideramos que las pruebas con las que apoyan esta conclusión son apropiadas. Cuando reconstruimos su tercer argumento, observamos que la justificación con la que apoyan su conclusión es coherente, aunque exponen la misma conclusión que en el segundo argumento, *se acabó el oxígeno del agua oxigenada*, aportan una prueba diferente, con la cual justifican que si se

produce reacción después de introducir hígado (resto) en agua oxigenada (fresca), la causa de la detención se debe a que el oxígeno del agua oxigenada se termina. Además, exponen una condición de excepción a esta conclusión en forma de contraargumento, en el que relacionan los datos, *la reacción se detiene, no hay burbujas*, con la conclusión, *se acabó el enzima*, apoyada en la prueba de que, en el caso de añadir hígado (resto) a agua oxigenada (fresca) no se produzca reacción. Consideramos que la prueba empleada es apropiada y, además, refuta la conclusión principal, de forma adecuada, en el caso de que ésta no se cumpla.

En resumen, este grupo ve mejorada la calidad de sus argumentos a medida que avanza la tarea. Así, observamos que son capaces de a) relacionar los datos con las conclusiones a partir de justificaciones coherentes, que pueden estar apoyadas por diferentes tipos de pruebas, b) contraargumentar, c) refutar las conclusiones de otros estudiantes y d) añadir condiciones de excepción en forma de argumentos, que consideramos contraargumento de la conclusión principal. Lo cual pone de manifiesto una buena calidad de la argumentación de este grupo, siguiendo a Osborne, Erduran, Simon y Monk (2001), cuyos integrantes nunca se muestran conformes con lo expuesto por sus compañeros, de modo que la argumentación juega un papel esencial para que se pongan de acuerdo hasta dar con la resolución del problema planteado.

2ª pregunta de investigación: *¿En qué medida las líneas argumentativas les llevan a conclusiones acordes con el enunciado del problema?*

Podemos afirmar que desde el principio entienden qué se pide en la tarea porque, al extraer las líneas argumentativas que siguen para resolver el problema, observamos que éstas son coherentes con el enunciado. De los datos (implícitos de la Act.1) surgen dos líneas argumentativas, utilizando pruebas de diferente tipo, que llegan a dos conclusiones de 1^{er} nivel, que consideramos hipótesis rivales, “se acabó el enzima” y “se acabó el oxígeno”, estas hipótesis las contrastan mediante experimentos “mentales” para llegar a una única conclusión de 2º nivel, *se acabó el oxígeno* (se sobreentiende que del agua oxigenada), adecuada para resolver problema.

3ª pregunta de investigación: *¿En qué medida las hipótesis que formulan son pertinentes para resolver el problema?*

Los integrantes del grupo formulan dos hipótesis. La primera hipótesis Hip.A₁ “*se acabó el enzima catalasa*”, que formulan para la reacción con la muestra de patata, la consideramos

pertinente para la resolución del problema, porque con ella plantean como causa de la detención de la reacción el agotamiento del enzima, por tanto, al no existir enzima que se una con el sustrato, la reacción se detiene. La segunda hipótesis que formulan Hip.A₂ “*se acabó el oxígeno del agua oxigenada*”, está propuesta para la reacción con la muestra de hígado, también considerada pertinente para resolver el problema, ya que la explicación a esta hipótesis es que se termina el sustrato, por tanto, al no haber sustrato que reaccione, se detiene la reacción. Ambas hipótesis son pertinentes para la resolución del problema.

4ª pregunta de investigación: *¿En qué medida los estudiantes son capaces de diseñar un experimento para contrastar sus hipótesis?*

Para contrastar sus hipótesis diseñan dos experimentos, en los cuales están implicados los productos obtenidos en la Act.1, ejerciendo el control de las variables independientes identificadas, “el oxígeno se acaba” y “el enzima se acaba”, para la realización de sus experimentos. Para investigar si se acaba el enzima, introducen el hígado (resto) y la patata (resto) en sendos tubos con agua oxigenada (fresca). Para investigar si se acaba el oxígeno, introducen hígado y patata (nuevos) en los correspondientes tubos con el líquido (resto). Además, utilizan la experiencia de la Act.1 como comprobación de que las muestras (nuevas) contienen enzima. Consideramos que estos estudiantes son capaces de diseñar experimentos para contrastar sus hipótesis porque estos diseños les permiten demostrar alguna de las posibles causas de la detención de las reacciones, es decir, cuál de los dos reactivos implicados en la Act.1 se acaba. Por ello se considera que la calidad del proceso de indagación es alta.

Como ya indicamos anteriormente, perciben el problema, formulan una hipótesis diferente para cada muestra de enzima, diseñan dos experimentos, los planifican y los llevan a cabo. Destaca en este grupo el control que realizan de las variables implicadas, para lo cual diseñan dos experimentos paralelos para contrastar los resultados obtenidos. Son capaces de evaluar si sus experimentos les permiten dar por válidos los resultados que obtienen, realizando un nuevo experimento para comprobarlo, lo que les permiten llegar a una resolución del problema planteado.

5ª pregunta de investigación: *¿Cómo construyen, evalúan y modifican sus modelos?*

El primer modelo que construyen parte de los datos implícitos en la Act.1, al observar que las reacciones están detenidas y de la información aportada en la hoja de ayuda sobre las

propiedades y actuación de los enzimas, el modelo A₁ “*se acabó el oxígeno del agua oxigenada*”. Observamos que son capaces de expresar sus modelos y realizar predicciones con ellos (García-Rodeja Gayoso y Lima de Oliveira, 2012) acerca lo que creen que ocurrirá cuando realicen esos experimentos. Realizan experimentos mentales y cuando añaden un “pero” a su modelo consideran el resultado incorrecto (nomenclatura MMD), modificando este modelo A₁ “*se acabó el oxígeno del agua oxigenada*” para usar el modelo A₂ “*se acabó el enzima catalasa*”. Llevan a cabo experimentos que planifican para comprobar si su modelo A₂ “*se acabó el enzima catalasa*” es adecuado, y cuando consideran el resultado incorrecto, al observar que obtienen un resultado contrario a lo esperado según su hipótesis, rechazan el modelo, como en el caso de la reacción ocurrida con la muestra de la patata, por tanto, rechazan el modelo A₂ “*se acabó el enzima catalasa*” para usar el modelo A₃ “*se acabó el sustrato*”. Además, estos estudiantes sienten la necesidad de validar sus modelos, al no estar convencidos de si los experimentos realizados permiten demostrar las causas de la detención de las reacciones, por lo que deciden comprobar si las muestras (nuevas) contienen enzima, realizando un último experimento, del cual obtienen un resultado positivo, se produce reacción cuando introducen muestras nuevas de hígado y patata en sendos tubos con agua oxigenada (fresca). Por lo que consideramos que existe un progreso en el uso del modelo de interacción enzima-sustrato.

6ª pregunta de investigación: *¿En qué medida los modelos elaborados por los estudiantes permiten explicar la detención de las reacciones enzimáticas?*

Consideramos que los tres modelos elaborados por este grupo son adecuados para explicar la detención de las reacciones, el primer modelo que usan A₁ “*se acabó el oxígeno del agua oxigenada*”, con el que explican que la causa de la detención de la reacción es que ya no hay oxígeno ‘de más’ en el agua oxigenada y por eso se detiene, expresan este modelo para la reacción ocurrida entre el agua oxigenada y la catalasa contenida en el hígado. Este modelo es modificado por los experimentos mentales, en el caso de que con sus experimentos no demuestren que se acaba el sustrato, por lo que elaboran su segundo modelo A₂ “*se acabó el enzima catalasa*”, cuya explicación para la detención de las reacciones es que se termina el enzima contenido en la muestra de patata. Así, estos estudiantes formulan un modelo diferente para cada muestra.

5.2. RESULTADOS DEL GRUPO B

El grupo B está compuesto por cuatro alumnas a las que denominamos Beatriz, Begoña, Belén y Branca. De estas chicas, Branca no participa en el discurso, de hecho sólo interviene 15 veces durante la actividad, parece que el aspecto de los restos de hígado de la Act.1 le afecta. Las otras tres componentes del grupo intervienen con frecuencia a lo largo de la sesión y se turnan para escribir el informe.

5.2.1. El proceso de argumentación

En el análisis del proceso de argumentación de este grupo identificamos cuatro argumentos relevantes y, partiendo de éstos, inferimos dos líneas argumentativas. Observamos que construyen dos argumentos para cada una de las líneas argumentativas.

El primer argumento, que identificamos, está construido por Beatriz (t.41), con él indica una causa de la detención de las reacciones, (Beatriz, t.41.1) [...] *porque se esgotou a enzima*, al mismo tiempo que propone un experimento para justificar la conclusión, (Beatriz, t.41.2) *podemos botar outra vez eso* (agua oxigenada) *e se volve a reaccionar*, el cual implica, añadir una cantidad de agua oxigenada en los tubos de ensayo que contienen los productos de las reacciones de la Act.1, para comprobar si se agotaron los enzimas. Consideramos que con este argumento emite su primera hipótesis Hip.B₁ “*se agotó el enzima*”. La prueba (vuelve a reaccionar al añadir agua oxigenada a los restos de la Act.1) a la que apela para apoyar su hipótesis está englobada en el tipo de pruebas que denominamos teóricas (se resumen en la figura 5.14), la cual integra en su justificación para relacionar los datos implícitos de la Act.1, *la reacción se detiene, no hay burbujas*, con la conclusión, *se agotó el enzima*, justificando que, si se produce reacción al añadir agua oxigenada en los tubos con los restos de las reacciones de la Act.1, el motivo de que se detuvieran éstas se debe a que el enzima se agotó.

Sin embargo, la justificación que propone Beatriz (t.41.2) no se adecuaba a la conclusión, ya que, si supone que se acaba el enzima, no se observará la reacción (a velocidad rápida) al añadir agua oxigenada (fresca) en los productos de la Act.1. Consideramos que su justificación es contraria a su conclusión, porque si supone que se agota el enzima, debería añadir enzima para demostrarlo y no agua oxigenada (fresca). Por tanto, consideramos que esta prueba no es apropiada ya que el conocimiento científico que emplea presenta errores. En cuanto a la estructura del argumento, es un argumento sencillo al estar formado sólo por los tres elementos

principales (dato, justificación y conclusión), de tal modo que la calidad del mismo es baja. El TAP con el que representamos este argumento se muestra en la figura 5.10.



Figura 5.10: Primer argumento de Beatriz en el que expone su primera hipótesis sobre la causa de la detención de la reacción.

El segundo argumento que construyen surge de los mismos datos, *la reacción se detiene, no hay burbujas*, pero llegan a una conclusión diferente, considerada como hipótesis rival de la primera hipótesis, formulando así su segunda hipótesis Hip.B₂ “*se acabó el sustrato (oxígeno)*”. Para justificarla apelan a una prueba de tipo teórico (figura 5.14), aportada por Beatriz.

t.91.2 Beatriz: *La enzima está ahí teóricamente, ¿no?*

Interpretamos que para aportar esta prueba utiliza la información de la hoja de ayuda en donde se indica que los enzimas se recuperan al finalizar la reacción y se liberan cuando el sustrato se transforma en producto. Además, con esta prueba justifican que la causa de que se detengan las reacciones es que se descompuso del agua oxigenada (consideramos que al indicar que no queda oxígeno equivale a que todo el agua oxigenada se descompuso) y aunque exista enzima en los tubos con los restos de la Act.1, no podrá reaccionar. Por lo que, consideramos que esta prueba es apropiada, porque el conocimiento científico que emplea es aceptable, aunque no correcto y además está encaminada a explicar la detención de las reacciones. Asimismo, a nivel estructural el argumento es sencillo, por lo que la calidad del argumento es media. Este argumento se representa en la figura 5.11.

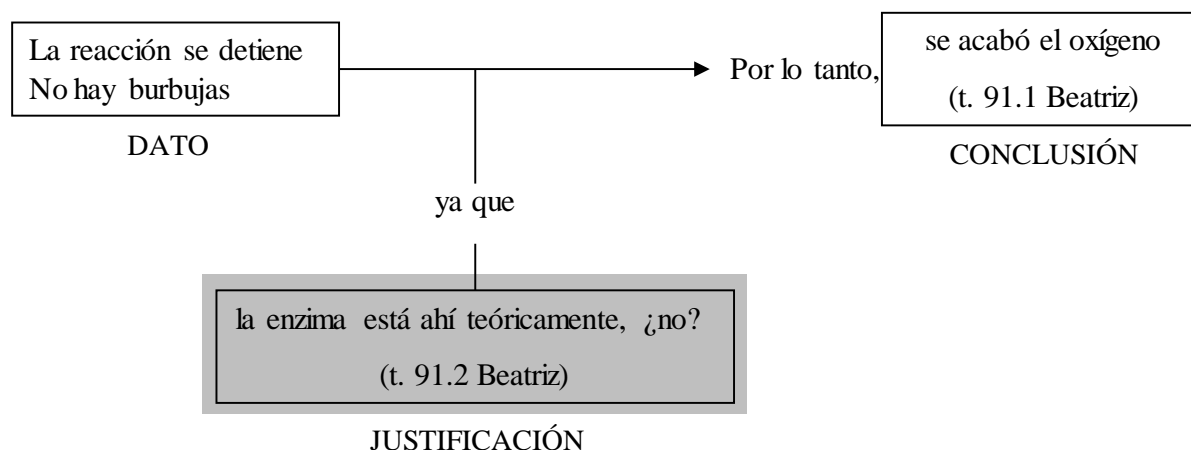


Figura 5.11: Segundo argumento de Beatriz en el que expone su segunda hipótesis sobre las causas de la detención de las reacciones.

Construyen su tercer argumento a partir de la observación de la detención de las reacciones, porque no hay burbujas (dato implícito de la Act.1) relacionándola con la conclusión, expuesta por Belén (t.102) *Porque see[...] esgotaron as enzimas daa[...] pataca*, consideramos que esta conclusión se relaciona con su primera hipótesis Hip.B₁ “*se agotó el enzima*”, pero la aplican sólo a la muestra de patata. Las pruebas a las que apelan para apoyar su conclusión son de tipo empírico, la interpretación de que el líquido (resto) que hay en los tubos de ensayo es sustrato.

t.93 Begoña: *Y el sustrato también está ahí, ¿si es esto!*

y de tipo teórico, con las que justifican que no se producirá reacción en el caso de que se terminen los enzimas:

t.120 Beatriz: *Aún así, y si se esgotaron as enzimas, entonces se supone que no va a reaccionar*

Consideramos que estas pruebas son apropiadas, ya que exponen una posible causa a la detención de las reacciones. Por lo que la calidad de este argumento es media ya que la estructura es sencilla. Este argumento se muestra en la figura 5.12.

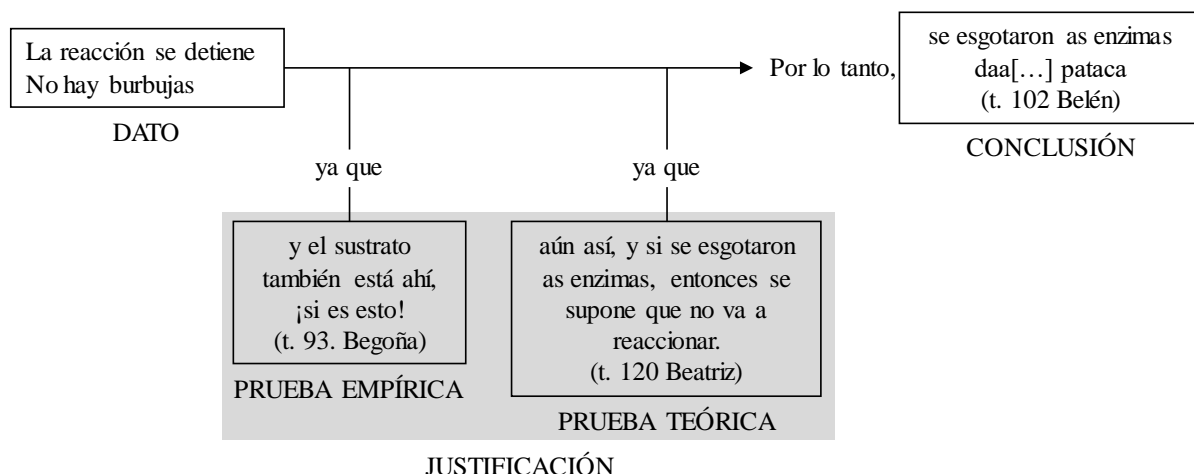


Figura 5.12: Tercer argumento del grupo B en el que apoyan de nuevo su primera hipótesis sobre las causas de la detención de las reacciones.

El cuarto argumento que construyen (figura 5.13), parte de los mismos datos y llegan a la conclusión, es expuesto por Belén (t.280) *Igual se esgotou primero[...] el[...] el sustrato[...] en el hígado antes de que se esgotaran[...] (enzimas)*, con el que expone el motivo por el cual los restos de la Act.1, que contienen la muestra de hígado, reaccionan al añadir agua oxigenada (fresca). Las pruebas que usan para justificar la conclusión son de dos tipos: empírico y teórico.

La prueba de tipo empírico es la interpretación de los resultados obtenidos cuando realizan el experimento, “los restos de la Act.1 (hígado) reaccionaron” y “los restos de la Act.1 (patata) no reaccionaron”, al añadir agua oxigenada (fresca).

La prueba de tipo teórico es la interpretación de que los enzimas siguen en los restos de la Act.1.

t.91.2 Beatriz: *La enzima está ahí teóricamente, ¿no?*

t.277 Begoña: *Igual, que uno tiene más enzimas[...]*

t.279 Begoña: *[...] y no llegaron a esgotarse.*

Con estas pruebas justifican que: a) en el tubo con los restos de la Act.1 hay enzimas que pueden reaccionar con el agua oxigenada y b) en uno de los tubos (con los restos de la Act.1) la cantidad de enzimas es mayor y no se agotó al reaccionar en la Act.1.

Consideramos que estas pruebas son apropiadas, porque si se añade la misma cantidad de agua oxigenada, en ambas muestras, pero una contiene ‘más’ enzimas, entonces el agua oxigenada

se descompondrá primero, de este modo, explican una posible causa de la detención de las reacciones.

Esta conclusión en la que Belén expone que se acabó el sustrato antes que el enzima, en el caso del hígado, es refutada por Begoña porque ella “ve el sustrato”, sigue viendo el líquido (resto), (Begoña, t.281) *Pero, yo sigo viendo el sustrato (...)* [risa].

Así, la calidad de este cuarto argumento es alta ya que las pruebas son apropiadas y, a nivel estructural, es un argumento complejo por presentar una refutación, lo cual manifiesta un proceso argumentativo de mayor complejidad.



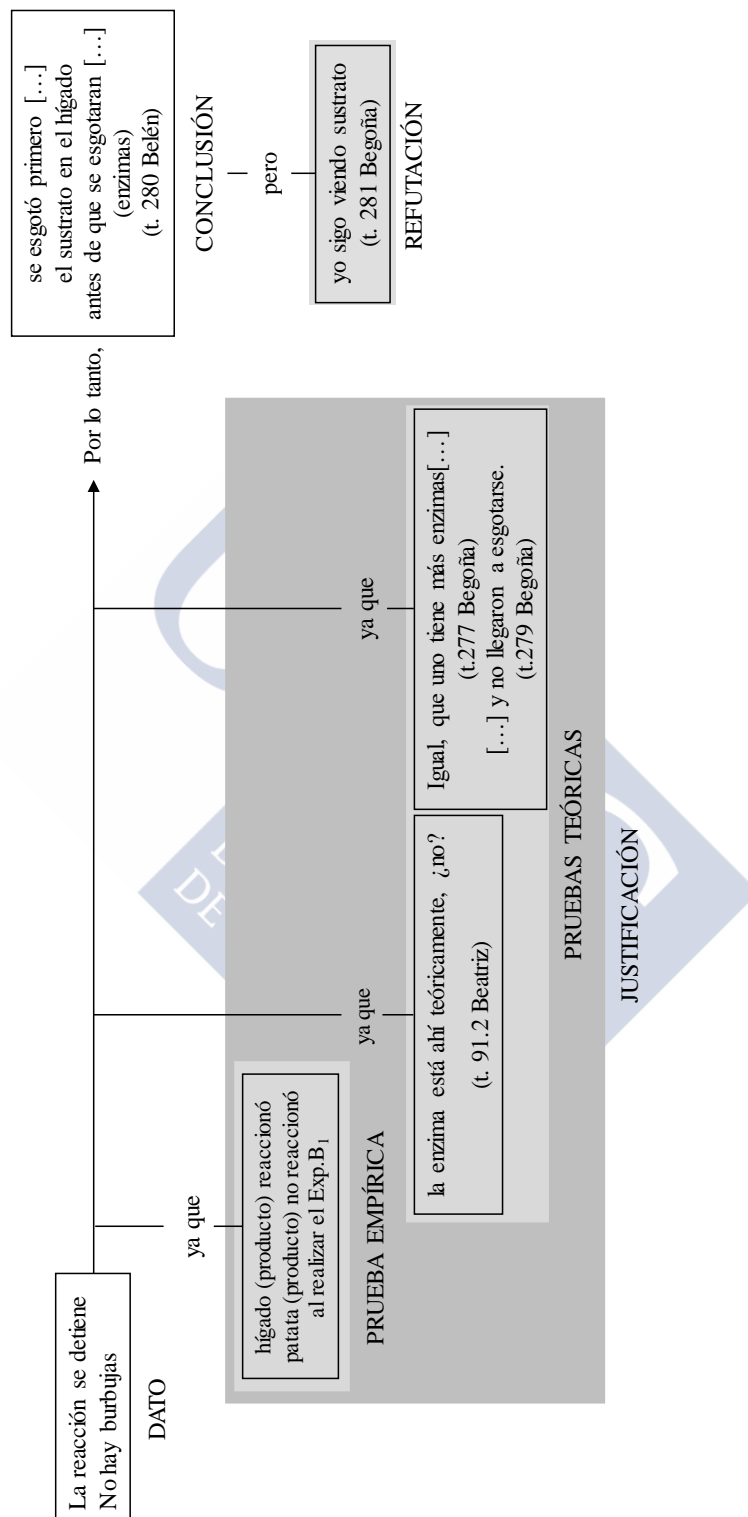


Figura 5.13: Cuarto argumento del grupo B en el que exponen su hipótesis de las posibles causas de la detención de la reacción del agua oxigenada con el hígado

De su discurso argumentativo inferimos dos líneas argumentativas que guían la resolución del problema. Estas líneas argumentativas se resumen en la figura 5.14.

La primera línea argumentativa que siguen, les lleva a formular su hipótesis Hip.B₁ “*se agotó el enzima*”, que consideramos como conclusión de 1^{er} nivel de la 1^a línea argumentativa. Las pruebas que usan para justificar esta conclusión son de tipo empírico, queda sustrato en los tubos de ensayo (Begoña, t.93), y de tipo teórico, con las que exponen que: a) en el caso de que se agoten los enzimas vuelve a reaccionar al añadir agua oxigenada (fresca) a los restos de la Act.1 (Beatriz, t.41.2) y b) en el supuesto de que se agotaran los enzimas, al añadir agua oxigenada (fresca) no debe reaccionar (Beatriz, 120). Los argumentos con los que justifican esta conclusión se representan en las figuras 5.10 y 5.12.

La segunda línea argumentativa se infiere cuando formulan la Hip.B₂ “*se acabó el sustrato*”, que surge de los mismos datos. Las pruebas que usan para justificar esta conclusión, que consideramos conclusión de 1^{er} nivel de la 2^a línea argumentativa son de diferente tipo: empíricas y teóricas. Las pruebas de tipo empírico que usan las obtienen al interpretar los resultados del experimento que consiste en añadir agua oxigenada (fresca) a los restos de la Act.1. Con las pruebas de tipo teórico justifican que: a) los enzimas permanecen en los tubos, (Beatriz, t.91.2), interpretamos que utiliza la información (dato de la hoja de ayuda) sobre la recuperación de los enzimas una vez finalizada la reacción al transformarse el sustrato en producto, b) el sustrato permanece en los tubos (Begoña, t.93), c) en el caso de que se agoten los enzimas, no reaccionará con agua oxigenada (fresca) (Beatriz, t.120), y d) una de las muestras contiene mayor número de enzimas que la otra y no se agotaron en la reacción producida en la Act.1 (Begoña, t.277 y t.279). Los TAP en los que representamos la justificación de esta 2^a línea argumentativa se muestran en las figuras 5.11 y 5.13.

DATOS (implícitos Act.1)	PRUEBAS 1º NIVEL	CONCLUSIONES 1º NIVEL (HIPÓTESIS)	REALIZAN EXPERIMENTOS “MENTALES”	CONCLUSIONES 2º NIVEL
La reacción se detiene	1ª LÍNEA ARGUMENTATIVA	Empíricas <ul style="list-style-type: none">• el sustrato sigue en el tubo Teóricas <ul style="list-style-type: none">• vuelve a reaccionar al añadir agua oxigenada a los restos de la Act.1• no se producirá reacción en el caso de que se acabaran los enzimas	añadir más agua oxigenada a los tubos con los productos (Act.1)	se acabó el enzima de la patata
		una muestra tiene más enzimas que la otra, y aún no se agotaron		
No hay burbujas	2ª LÍNEA ARGUMENTATIVA	Empíricas <ul style="list-style-type: none">• el hígado (resto) reaccionó• la patata (resto) no reaccionó Teóricas <ul style="list-style-type: none">• los enzimas siguen en los productos (Act.1)	añadir más agua oxigenada a los tubos con los productos de la Act.1 al añadir más hígado a la reacción del Exp.B ₂ se detiene la reacción al añadir más agua oxigenada al Exp.B ₃ volvería a reaccionar.	se acabó el sustrato, el hígado sigue teniendo enzimas

Figura 5.14: Líneas argumentativas del grupo B que les llevan a la conclusión de que se acabó el enzima en la reacción con la patata y el sustrato en la reacción con el hígado

Siguiendo sus razonamientos, las integrantes del grupo discuten sobre la hipótesis que van a escribir en el informe. Por un lado, Belén quiere mantener la Hip.B₁ “*se agotó el enzima*” formulada por Beatriz (t.41.1) y Belén (t.102); por otro lado, Begoña se inclina por la Hip.B₂ “*se acabó el sustrato*” formulada por Beatriz (t.91.1). Aunque en la intervención de Begoña (t.99) *Ay![...] Esgotouse o efecto [...] do substrato* se hace referencia al “al efecto del sustrato”, tanto en el informe como en su discurso posterior, interpretamos que creen que se acabó el sustrato, no su efecto.

t.109 Begoña: *Porque el sustrato dejó de reac[...] de funcionar.*

t.110 Belén: *Ya, pero porque[...] pero Beatriz dijo[...] antes que[...] ya no quedan enzimas.*

t.111 Begoña: *Beatriz lo dijo a lo loco, ahora ya no se acordaba de lo que había dicho.* [risas]

Begoña carece de pruebas con las que respaldar la Hip.B₂ “*se acabó el sustrato*”, no es capaz de convencer al resto del grupo de que su hipótesis así que acepta, sin más, la hipótesis Hip.B₁ “*se acabó el enzima*”. Begoña, no sólo acepta esta hipótesis, sino que además expone un diseño para comprobarla.

t.113 Begoña: *Es igual, pon eso. [...] se esgotaron as enzimas da pataca.*

t.114 Beatriz: *Porque se esgotaron [...]*

t.115 Begoña: *As enzimas da pataca. [...] Y para comprobarlo botamos máis sustrato. [...] Yo lo voy echando. [...] ¡A lo loco!*

Redactan el informe, en el que exponen su hipótesis y la predicción de lo que creen que va a pasar cuando realicen su experimento “*HIPÓTESE: Deixou de reaccionar porque se esgotaron as enzimas da pataca. Para comprobalo botamos máis auga osixenada e se a pataca non reacciona entón a nosa hipótese é correcta*” (informe Act.3, 1^{er} y 2^o párrafos).

En cuanto terminan de redactar el informe, llevan a cabo el experimento propuesto por Beatriz (t.41.2) *podemos botar outra vez eso* (agua oxigenada) y por Begoña (t.137) *Para comprobalo botamos máis auga osixenada*, en diferentes ocasiones, para comprobar si la Hip.B₁ “*se agotó el enzima*” es la correcta, completando la línea argumentativa que conduce a la misma, es decir, tratan de buscar pruebas con las que apoyar las conclusiones de 1^{er} nivel de la 1^a línea argumentativa (figura 5.14). Este experimento implica, añadir una cantidad de agua oxigenada

en el tubo de ensayo que contiene los productos de la reacción de la Act.1, para comprobar si se agotaron los enzimas.

Comienzan la realización de su experimento con los productos de la Act.1 que contiene la muestra de patata y observan los resultados: no hay reacción. Seguidamente realizan el experimento con los productos de la Act.1 que contienen la muestra de hígado, al observar que se produce reacción porque ven burbujas, Belén regaña a Begoña por no escribir antes sus hipótesis en el informe (Act.2), ya que esa era una de las premisas de la tarea, a lo cual Begoña contesta que la hipótesis es la misma pero que fallaron.

t.190 Belén: *La has cagado, porque aún no habíamos escrito nada.*

t.191 Begoña: *Bueno, pero tenemos la misma y [...] fallamos.*

t.192 Estudiante: *¿Eso reacciona?*

t.193 Begoña: *Sí.*

t.194 Beatriz: *Pues, será cosa del hígado y de la patata.*

Entonces, cuando interpretan los resultados se les plantea un nuevo problema al observar que el resultado es totalmente contrario a lo que esperaban, como indica Beatriz en su intervención (Beatriz, t.276) *La nueva [...] la vieja está ahí. [...] No, la vieja no reaccionó. [...] Ya es definitivo. [...] Enton[...] ¿Cuál puede ser la diferencia entre el hígado y la patata?* Por tanto, el problema que se les plantea es el diferente comportamiento de la patata y del hígado, productos de las reacciones de la Act.1, cuando les añaden una cantidad de agua oxigenada (fresca).

A partir de esta observación, Begoña aporta una explicación que apoya las conclusiones de primer nivel de ambas líneas argumentativas (figura 5.14, figura ovalada).

t.277 Begoña: *Igual, que uno tiene más enzimas [...]*

t.279 Begoña: *[...] y no llegaron a esgotarse.*

Mientras que Belén propone la hipótesis Hip.B₂ “*se acabó el sustrato*”, que consideramos la conclusión de 1^{er} nivel de la 2^a línea argumentativa.

t.280 Belén: *Igual se esgotou primero [...] el[...] el sustrato[...] en el hígado antes de que se esgotaran [...] (enzimas).* [Conclusión 1^{er} nivel, 2^o línea argumentativa]

Aunque Begoña refuta que el sustrato no se acabó porque lo está viendo (Begoña, t.281) *Pero, yo sigo viendo el sustrato (...)*. Lo que ve es el líquido (resto), el problema es que no se cuestiona si lo que ve es agua oxigenada o no, se conforma con ver líquido.

A partir de estas intervenciones, interpretamos que siguen la 2º línea argumentativa (figura 5.14), que les lleva a reconsiderar la hipótesis Hip.B₂ “*se acabó el sustrato*” [el hígado sigue teniendo enzimas] [conclusión de 1^{er} nivel]. Para ello apelan a pruebas empíricas “el hígado reaccionó” y “la patata no reaccionó”, resultado del experimento, además de apelar a pruebas teóricas aportadas por Beatriz (t.91.2) y Begoña (t.277 y 279), al indicar que el hígado tiene más enzimas y no se agotaron [justificación]. Siguiendo esta línea argumentativa, Belén refuerza esta conclusión al exponer que se acabó primero el sustrato y que el hígado sigue teniendo enzimas.

t.280 Belén: *Igual se esgotou primeiro[...] el[...] el sustrato[...] en el hígado antes de que se esgotaran[...] (enzimas)*

Ambas líneas razonamiento finalizan con conclusiones de 2º nivel. Para el caso de la 1ª línea argumentativa, llegan a la conclusión de 2º nivel mediante pruebas empíricas que les llevan a aceptar la Hip.B₁ “*se agotó el enzima*”, para la muestra de patata. Mientras que la conclusión de 2º nivel perteneciente a la 2ª línea argumentativa les lleva a aceptar su Hip.B₂ “*se acabó el sustrato*” [el hígado sigue teniendo enzimas], en el caso del hígado.

Consideramos que ambas líneas argumentativas son adecuadas, puesto que aunque una prueba (vuelve a reaccionar al añadir agua oxigenada a los restos de la Act.1) de la 1ª línea argumentativa no es apropiada por el contenido científico, todas las pruebas justifican las causas de la detención de las reacciones.

5.2.2. El proceso de indagación

Para analizar este proceso empleamos, como herramienta, las etapas que deben seguir los estudiantes en una investigación en el contexto escolar propuestas por el proyecto APU (1984). Las etapas que siguen este grupo están representadas en la figura 5.15.

Siguiendo la figura 5.15, observamos que estas alumnas perciben el problema desde el comienzo de la actividad, a partir de la intervención de Beatriz (t.41) [...] *porque se esgotou a enzima, entón podemos botar outra vez eso (agua oxigenada) e se volve a reaccionar, tengo*

razón en la que interpretamos que entienden que lo que deben investigar es el motivo por el cual se detienen las reacciones.

Por eso aportan dos posibles causas que configuran sus hipótesis de partida que denominamos:

Hip.B₁ “*se agotó el enzima*”, esta primera hipótesis formulada por Beatriz (t.41.1) para la reacción ocurrida con las muestras.

Hip.B₂ “*se acabó el sustrato*” formulada, también, por Beatriz (t.91.1) *Porque se acabó el oxígeno*, planteada de diferentes formas por otras componentes del grupo (t.94, t.99 y t.109).

Entonces, a la hora de establecer las condiciones en las que van a realizar sus experimentos, observamos que identifican dos variables implicadas en sus experimentos, “el enzima se agota” y “el sustrato se acaba”. Pero, cuando diseñan el experimento, simplemente controlan la variable “el enzima se agota”. Dado que las hipótesis están enfocadas a determinar el por qué se detienen las reacciones, consideramos estas hipótesis pertinentes.

Para comprobar las hipótesis formuladas, Beatriz y Begoña proponen un diseño experimental,

t.41 Beatriz: [...] *porque se esgotou a enzima, entón podemos botar outra vez eso (agua oxigenada) e se volve a reaccionar, tengo razón.*

t.115 Begoña: *As enzimas da pataca. [...] Y para comprobarlo botamos máis sustrato. [...] Yo lo voy echando. [...] ¡A lo loco!*

t.137 Begoña: *Para comprobalo botamos máis auga osixenada.*

Este experimento consiste en introducir una cantidad de agua oxigenada (fresca) en los tubos de ensayo que contienen los restos de la Act.1. De este modo, controlan la variable “el enzima se agota”. A este diseño experimental lo denominamos

Exp.B₁ “*Añadir agua oxigenada en los restos de la Act.1*”

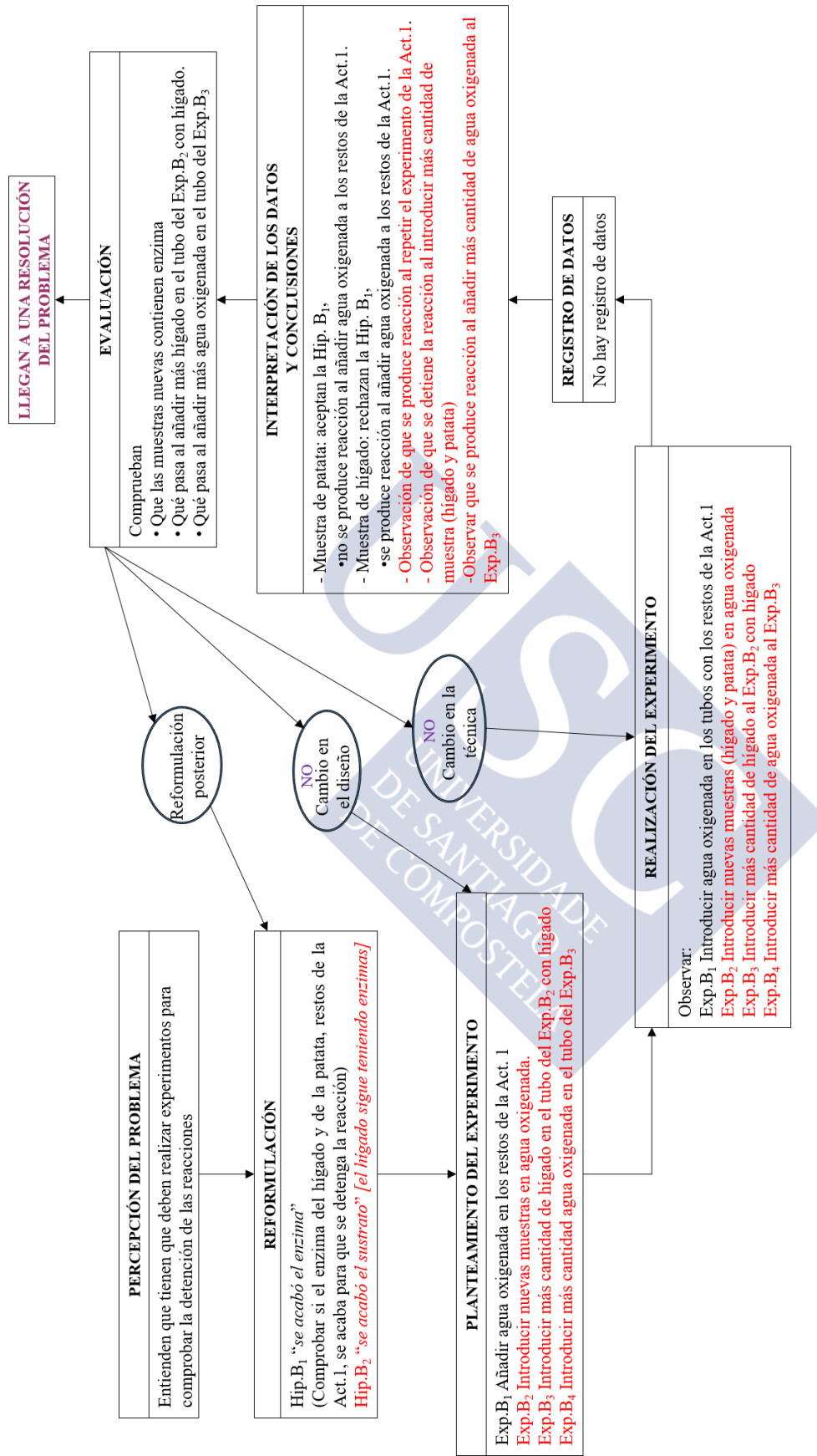


Figura 5.15: Representación del proceso de indagación del grupo B para la resolución del problema interpretado a partir de las etapas de investigación del proyecto APU (1984). El color rojo indica los pasos que realizan tras evaluar el procedimiento de indagación

Una vez que tienen diseñado el experimento proceden a realizarlo. El primer paso consiste en introducir una cantidad de agua oxigenada en el tubo de ensayo que contiene los restos de la Act.1 (patata) y observar qué ocurre (figura 5.16).

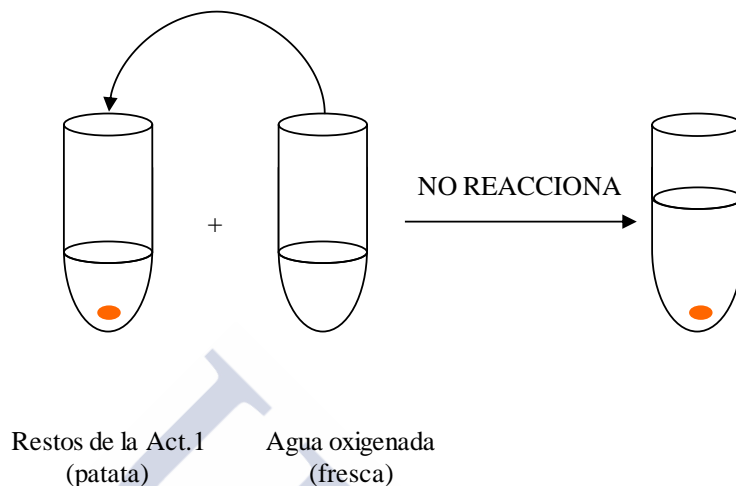


Figura 5.16: Procedimiento del experimento, Exp.B₁ “Añadir agua oxigenada en los restos de la Act.1”, con relación a la detención de la reacción del agua oxigenada con la patata.

En un primer momento, interpretan que se produce reacción, pero cuando observan detenidamente concluyen que no se produce burbujeo, por lo tanto, no hay reacción. Las alumnas se alegran de que el resultado que obtienen les permita aceptar su Hip.B₁ “se agotó el enzima” (Begoña, t.166). Incluso Belén (t.167 y t.168) propone agitar los reactivos, a modo de “activación”, para comprobar que realmente no se produce reacción.

t.161 Begoña: *Creo que reacciona.*

t.164 Beatriz: *Eso no reacciona.*

t.165 Estudiante: *No.*

t.166 Begoña: *¡Bien! ¡yuju!*

t.167 Belén: *Bueno, mezcla un poco coa variña, por si acaso.*

t.168 Belén: *No vaya a ser.*

t.169 Belén: *Por si no llegó bien eel[...]*

t.171 Beatriz: *No reacciona.*

t.173 Beatriz: *Es agua normal [...]*

t.175 Beatriz: *[...]digo yo.*

En cuanto concluyen que no se produce reacción en el primer paso, se disponen a ejecutar el siguiente paso del experimento, que consiste en realizar el experimento con los restos de la Act.1 (hígado). Es Begoña quien se encarga de introducir una cantidad de agua oxigenada en el tubo con los restos de la reacción de la Act.1 (hígado) (figura 5.17).

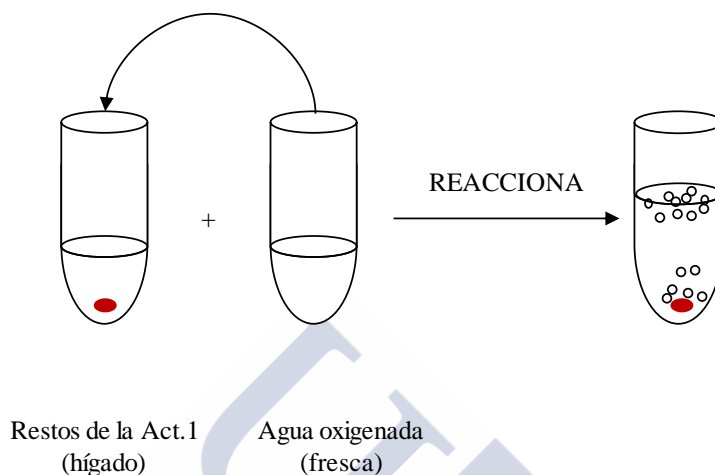


Figura 5.17: Procedimiento del experimento, Exp.B₁ “Añadir agua oxigenada en los restos de la Act.1”, con relación a la detención de la reacción del agua oxigenada con el hígado.

Mientras Begoña realiza el Exp.B₁ con los restos de la Act.1 (hígado), Beatriz propone realizar el mismo experimento de la Act.1 con la patata, (Beatriz, t.187) *¡Hey! Si ponemos [...] Si ahora cogemos trozos de patata, o sea, el nuevo, que tiene enzima, si ponemos (...) aquí,* (t.189) *Begoña, Begoña, haz lo de ayer con la patata, otra vez.*

Como indicamos anteriormente, Belén se da cuenta de que realizaron el Exp.B₁ con los restos de la Act.1 (hígado). Antes de escribir el informe correspondiente, Begoña soluciona este problema indicando que ponen la misma hipótesis que para la patata obteniendo un resultado erróneo (Begoña, t.191), porque observan que se produce reacción al introducir agua oxigenada en el tubo que contiene los restos de la Act.1 (hígado), es decir, ocurre lo contrario que con los restos de la Act.1 (patata).

t.190 Belén: *La has cagado, porque aún no habíamos escrito nada.*

t.191 Begoña: *Bueno, pero ponemos la misma y [...] fallamos.*

t.192 Estudiante: *¿Eso reacciona?*

t.193 Begoña: *Sí.*

t.194 Beatriz: *Pues, será cosa del hígado y de la patata.*

t.195 Begoña: *¡Ah!, diferente cantidad[...]* Primero escribe esto, luego decimos quee [...]

t.196 Belén: *Erramos?*

t.197 Begoña: [...]

t.198 Beatriz: *El fígado, en la patata no.*

Al observar estos resultados aceptan la hipótesis formulada para los experimentos realizados con la muestra de patata, pero la rechazan para la muestra de hígado. Es decir, no llegan a explicar por qué se detiene la reacción en el caso del hígado.

Los datos que obtienen de la observación de sus experimentos no son registrados ni en gráficas ni en tablas, simplemente indican en el informe escrito si se produce reacción o no. Interpretando los datos observados llegan a las siguientes conclusiones:

1. En el caso de la reacción con la muestra que contiene la patata (resto): aceptan la Hip.B₁ “*se agotó el enzima*”. Cuando realizan el Exp.B₁ observan que se no produce reacción al introducir agua oxigenada en el tubo con los restos de la Act.1 (patata), (t.171 Beatriz: *No reacciona*).
2. En el caso de la reacción con la muestra que contiene el hígado (resto): rechazan la Hip.B₁ “*se agotó el enzima*”. Cuando realizan el Exp.B₁ observan que se produce reacción al introducir agua oxigenada en el tubo con los restos de la Act.1 (hígado), (Estudiante, t.192 y Begoña, t.193).

Consideramos que este grupo hace una evaluación de sus hipótesis, en el momento que deciden comprobar si las muestras nuevas contienen enzima. Para lo cual, proponen realizar la misma experiencia que en la Act.1 (Beatriz, t.200), a este nuevo experimento lo denominamos Exp.B₂ “*Introducir nuevas muestras en agua oxigenada*” (figura 5.18).

t.200 Beatriz: (...) *hígado [...]* pongo que vamos a hacer todo el rollo de la patata nueva para comprobar [...]

t.206 Beatriz: *Corta la patata y echa [...]*

t.207 Begoña: *Y [...]* un cacho de hígado [...]

Realizan el Exp.B₂, introduciendo nuevas muestras de hígado y patata en sendos tubos con agua oxigenada (fresca). Observan que se produce reacción, en los dos casos.

t.251 Beatriz: *Pero, ¿la patata nueva reaccionó? ¿no?*

t.253 Beatriz: *La patata nueva sí.*

t.254 Belén: *Y el hígado también.*

Esta evaluación la indican también en sus informes, como observamos en la siguiente transcripción:

“Para asegurarnos de que a nosa hipótese é efectivamente correcta, repetimos a experiencia do día anterior cunha nova pataca. A pataca nova reaccionou, corroborando así a nosa hipótese” (informe Act.3, 3^{er} párrafo).

“Probamos o experimento do día anterior de novo e, efectivamente, o fígado, volve reaccionar” (informe Act.2, 6^o párrafo).

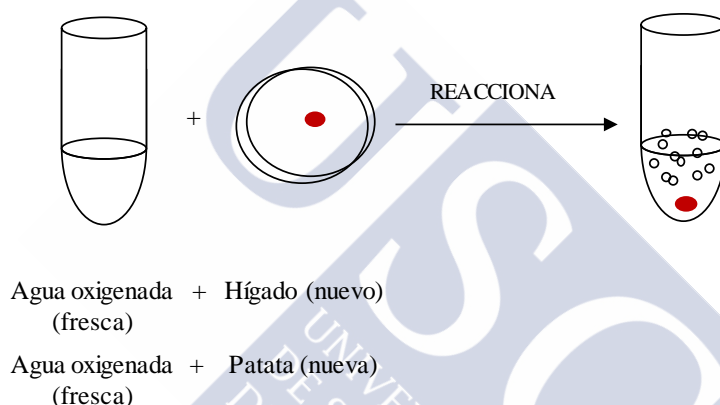


Figura 5.18: Procedimiento para comprobar que las muestras nuevas de hígado y patata reaccionan con agua oxigenada. Exp.B₂ *“Introducir nuevas muestras en agua oxigenada”*

Begoña, encargada de escribir el informe, está preocupada por la diferencia de los resultados hallada entre las muestras, y pregunta al resto del grupo (Begoña, t.258) *¿Vamos a decir algo más de [...] por qué no reaccionó el hígado?*, a lo cual, una componente del grupo, que no fue posible identificar le contesta que no lo saben (Estudiante, t.259) *¡Eeh! Nadie tiene ni idea.* Aún así, Begoña no queda conforme con esa respuesta y más adelante, vuelve a insistir (Begoña, t.267) *A ver, no sé. [...] Yo aún no tengo claro ¿Por qué [...] por qué el hígado reacciona?* Apoyando la pregunta de Begoña, Beatriz aporta datos sobre el experimento con la patata (Beatriz, t.276) *La nueva [...] la vieja está ahí. [...] No, la vieja no reaccionó. [...] Ya es definitivo. [...] Enton [...] ¿Cuál puede ser la diferencia entre el hígado y la patata?* Es en este momento cuando perciben un nuevo problema, las muestras con enzima no se comportan de la misma manera. Este problema lo intentan resolver re-formulándolo. Para ello,

Belén refuerza la Hip.B₂ “*se acabó el sustrato*” (t.280) ampliándola al indicar que se acaba el sustrato antes de que se acaben los enzimas en el caso del hígado [Conclusión de 1^{er} nivel].

t.277 Begoña: *Igual, que uno tiene más enzimas [...]*

t.279 Begoña: *[...] y no llegaron a esgotarse.*

t.280 Belén: *Igual se esgotou primero [...] el[...] el sustrato [...] en el hígado antes de que se esgotaran [...] (enzimas)* [Conclusión 1^{er} nivel, 2^o línea argumentativa]

t.281 Begoña: *Pero, yo sigo viendo sustrato (...) [risa]* [Refutación]

A pesar de que Beatriz no quiere cambiar la hipótesis inicial (Beatriz, t.282) *No, la hipótesis era la que hicimos*, Begoña propone un nuevo experimento sin predecir lo que ocurriría al hacerlo, (Begoña, t.284) *Echamos todo el hígado y toda la patata ¿a ver qué pasa?* En un principio Beatriz se opone a realizarlo (Beatriz, t.285) *No[...]* (Beatriz, t.287) *[...] eso ya lo hicimos ayer a lo loco, también con el líquido*, pero Begoña vuelve a insistir (Begoña, t.301) *Bueno, yo quiero echar todo el hígado [...] me está tentando demasiado*. Entonces realizan el experimento propuesto por Begoña, que denominamos Exp.B₃ “*Introducir más cantidad de hígado en el tubo del Exp.B₂ con hígado*” (figura 5.19), que consiste en introducir toda la muestra de hígado que la investigadora les dejó para que realizasen los experimentos oportunos. Observan que no se produce más reacción (se detiene), como indica Begoña

t.320 Begoña: *Non reacciona, porque ya hay mucho [risa]*

Por tanto, de la observación de los resultados obtenidos del Exp.B₃, Belén llega a la conclusión (t.330) de que, si el hígado sigue teniendo enzimas y se acaba el sustrato, al añadirle más ‘agua’, vuelve a reaccionar, Hip.B₂ “*se acabó el sustrato*” [*el hígado sigue teniendo enzimas*], con esta hipótesis indica las posibles causas por las que se detiene la reacción del agua oxigenada con la muestra de hígado, al mismo tiempo que explica lo ocurrido en el Exp.B₁.

t.328 Belén: *[...] ¡Claro! [...] Que si [...]*

t.330 Belén: *[...] si se acaba antes el sustrato, este de [...] del agua, que puede reaccionar con el hígado, y el hígado sigue teniendo enzimas, si echas más agua [...] por eso sigue reaccionando.*

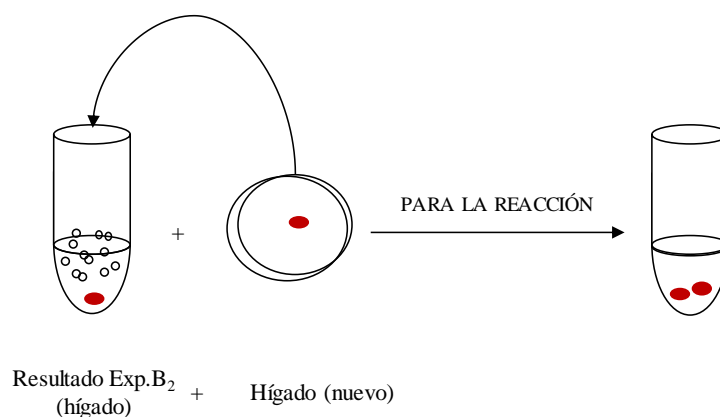


Figura 5.19: Procedimiento para comprobar qué ocurre al añadir toda la muestra de hígado en el tubo con los productos del Exp.B₂. Exp.B₃ “Introducir más cantidad de hígado en el tubo del Exp.B₂ con hígado”

Después de observar lo ocurrido en el Exp.B₃, Begoña realiza un experimento “mental” para comprobar si se reactivarían los restos del Exp.B₃ al añadir más agua oxigenada, que ella llama simplemente ‘agua’.

t.388 Begoña: ¡Ah! Y también porque en el otro tubo, cuando echamos una gran cantidad de hígado [...] ¡Dios mío! ¿Ves? Lo que tuvo que discutieron (...) las otras dos.

t.389 Begoña: Al echar toda [...] toda la cantidad de hígado, lo que pasa es que [...] hay demasiado hígado y poca agua [...]

t.391 Begoña: [...] al echarle más agua volvería a reaccionar.

Mientras Belén escribe el informe, el resto del grupo habla de otras cosas, cuando termina de escribir, les pregunta si realizaron el experimento propuesto por Begoña, puesto que ella no estaba atenta a lo que hacían sus compañeras.

t.436 Belén: Probasteis a echarle más agua (...)

t.437 Beatriz: ¿Al que tiene más hígado?

t.438 Belén: ¡Claro! Para ver si reaccionaría.

Retomando la actividad, piden agua oxigenada para realizar este nuevo experimento, que denominamos, Exp.B₄ “Introducir más cantidad agua oxigenada en el tubo del Exp.B₃” (figura 5.20). Realizan este experimento que consiste en añadir una cantidad de agua oxigenada (fresca) al tubo que contiene los productos del Exp.B₃. Al interpretar los resultados,

porque observan que vuelve a reaccionar, concluyen que se había detenido la reacción en el Exp.B₃ porque había demasiado hígado y poco sustrato.

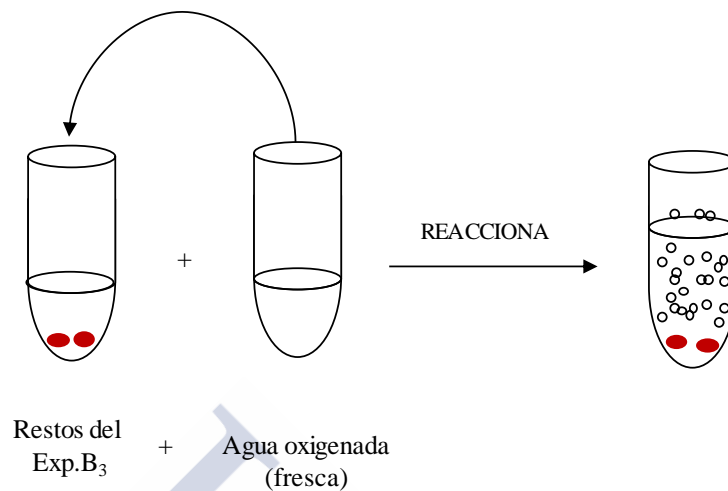


Figura 5.20: Procedimiento para comprobar si se reactiva la reacción al añadir agua oxigenada en el tubo con los productos del Exp.B₃. Exp.B₄ “Introducir más cantidad agua oxigenada en el tubo del Exp.B₃”

Por tanto, aceptan la Hip.B₂ “*se acabó el sustrato*” [el hígado sigue teniendo enzimas]. A esta conclusión llegan a partir de los resultados de:

- Exp.B₁ “Añadir agua oxigenada en los restos de la Act.1” (hígado), al observar que se produce reacción al añadir agua oxigenada a los productos de la Act.1 (hígado), como indica Beatriz (t.386) *No, [...] el hígado viejo al añadirle [...] agua reaccionó. Por eso está confirmada nuestra hipótesis*, es decir, si añaden sustrato (agua oxigenada) reacciona, por lo que se había acabado el sustrato,
- Exp.B₂ “Introducir nuevas muestras en agua oxigenada”, al observar que se produce reacción al añadir hígado a un tubo que contiene agua oxigenada,
- Exp.B₃ “Introducir más cantidad de hígado en el tubo del Exp.B₂ con hígado”, al observar que se detiene la reacción, como expone Begoña (t.320) *Non reacciona, porque ya hay mucho*, es decir, que si añaden más enzima al tubo que aún está reaccionando (agua oxigenada + hígado) y para la reacción, será porque hay demasiado enzima y poco sustrato, y
- Exp.B₄ “Introducir más cantidad agua oxigenada en el tubo del Exp.B₃”, al observar que se reactiva la reacción detenida en el Exp.B₃, es decir, al añadir más agua

oxigenada fresca (sustrato) vuelve a reaccionar lo que confirma que se acabó el sustrato.

En este momento dan por validadas sus hipótesis llegando a la resolución del problema. En la figura 5.21 representamos, a modo de resumen, todo el procedimiento realizado hasta aceptar la Hip.B₂ “*se acabó el sustrato*” [*el hígado sigue teniendo enzimas*].

Por último, consideramos que la calidad del proceso de indagación es alta. Para contrastar sus hipótesis, que son pertinentes, plantean cuatro experimentos diferentes al realizado en la Act.1. Aunque realizan un protocolo diferente al referencial, los resultados que obtienen son similares al referencial. Además, es importante que se planteen que existe un problema cuando los resultados que obtienen de ambas muestras (hígado y patata) no coinciden, por lo que intentan generar una hipótesis explicativa. Todo ello, teniendo en cuenta que para ellas la anomalía se produce en el hígado y, en consecuencia, eligen como “correcto” el primer resultado que obtienen (patata). Por ello no repiten esta e intentan encontrar alguna explicación para el caso del hígado, cuando lo normal sería que el caso de la patata fuera el “incorrecto” ya que, formalmente, no parece coincidir con la información teórica aportada en la hoja de ayuda.



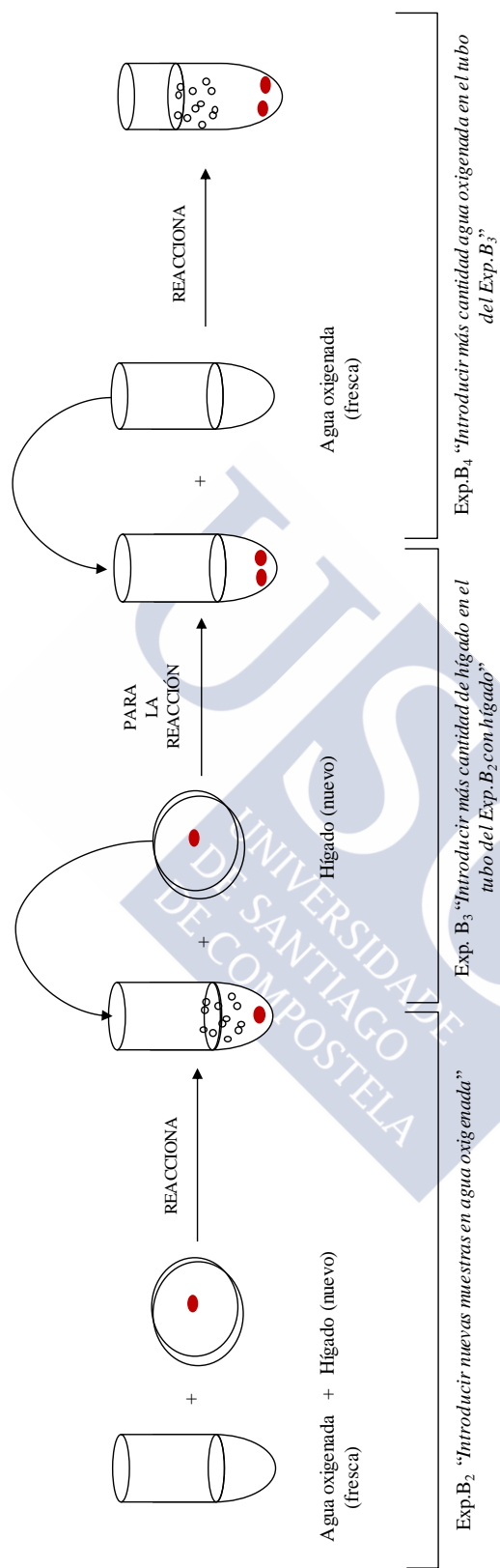


Figura 5.21: Procedimiento de los experimentos realizados por el grupo B para demostrar la causa por la que se detiene la reacción del agua oxigenada con catalasa contenida en la muestra de hígado, Act.2 "Porque parou a reacção co fígado?"

5.2.3. El proceso de modelización

Para finalizar el análisis de la competencia científica del grupo B analizamos la modelización y el uso del modelo empleando el MMD como herramienta de análisis. En la figura 5.22 se representa el proceso de modelización llevado a cabo por este grupo.

Siguiendo con las etapas del proceso de modelización, observamos que este grupo desde el principio concibe el objetivo de la tarea, que consiste en entender que deben elaborar un modelo que les permita explicar las causas por las que se detienen las reacciones enzimáticas.

Parten de la experiencia con la actividad enzimática tomada durante la realización de la Act.1 “*Acción catalítica de los enzimas*”, en la cual tenían que realizar la experiencia de añadir enzima catalasa contenida en muestra de hígado y muestra de patata en sendos tubos que contenían agua oxigenada. A partir de 1) la observación de que las reacciones se detienen después de un tiempo (dato empírico) y 2) la interpretación de los datos aportados en la hoja de ayuda referentes a las funciones de los enzimas y sus propiedades (datos de la tarea), describen el objeto a modelar, siguiendo la nomenclatura de Justi y Gilbert (2002), lo que les permite elaborar un modelo para determinar las posibles causas de la detención de las reacciones. Interpretamos que elaboran *modelos mentales*, ya que los explicitan verbalmente, transformándolos en *modelos expresados*, los cuales reconstruimos a partir de sus argumentos, como en el caso de Belén (t.330) [...] *si se acaba antes el sustrato, este de [...] del agua, que puede reaccionar con el hígado, y el hígado sigue teniendo enzimas, si echas más agua [...] por eso sigue reaccionando*. Cuando llegan a un acuerdo, de sus modelos expresados, podemos considerar que elaboran un *modelo consensuado*. Los modelos consensuados se comentan a continuación.

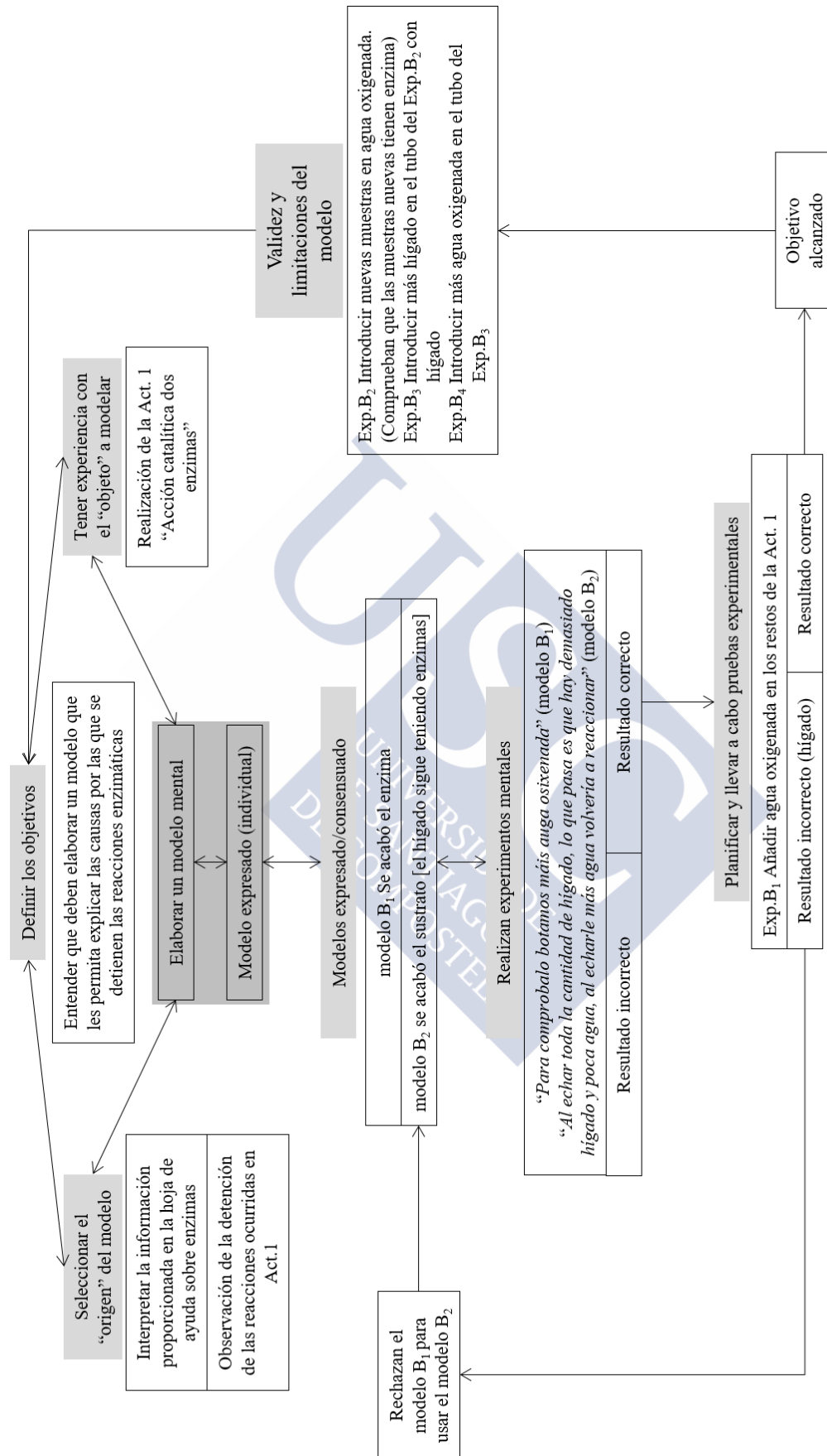


Figura 5.22: Proceso de modelización del grupo B mientras realizan la actividad

Así, la primera componente del grupo que expone una causa de la detención de las reacciones es Beatriz (t.41) [...] *porque se esgotou a enzima, entón podemos botar outra vez eso e se volve a reaccionar, tengo razón*. En este modelo expresado se aprecia una contradicción (argumento representado en la figura 5.10), ya que, como dice ella, si se acaba el enzima, al añadirle agua oxigenada, el otro componente de la reacción, no podrá demostrar su hipótesis. Para ello, debería añadir el componente que intuye que se agota en la reacción, el enzima.

El primer modelo expresado/consensuado que elabora este grupo lo usa para dar respuesta a la Act.3 “¿Por qué paró la reacción con la patata?”, es decir, para determinar las causas de la detención de las reacciones con la muestra de patata. Para justificar su primer modelo se fundamentan en los datos implícitos en la Act.1, al observar que las reacciones están detenidas y no hay burbujas. Consideramos que es un modelo expresado, en primer lugar, por Beatriz y aceptado por todo el grupo, es decir, es un modelo consensuado, y lo interpretamos a partir de las intervenciones (t.101, t.102 y t.120) en las que expresan el argumento (figura 5.12), que les lleva a exponer su primer modelo que denominamos modelo B₁ “*se agotó el enzima*”, en su razonamiento consideran que la reacción se detiene cuando se terminan los enzimas que contiene la muestra de la patata.

t.101 Beatriz: *Hipótese, deixou de reaccionar [...]*

t.102 Belén: *Porque se [...] esgotaron as enzimas daa [...] pataca.*

t.115 Begoña: *As enzimas da pataca [...] Y para comprobarlo botamos máis sustrato. [...] Yo lo voy echando [...] ¡A lo loco!*

t.117 Beatriz: *Espera, no echas, porque tenemos que poner lo que creemos que va a pasar.*

t.120 Beatriz: *Aún así, y si se esgotaron as enzimas, entonces se supone que no va a reaccionar.*

Observamos que realizan experimentos mentales para comprobar si el modelo B₁ les sirve para dar una explicación a la detención de las reacciones, o sea, estas alumnas realizan experimentos mentales, que explicitan verbalmente, en los cuales predicen lo que creen que ocurrirá cuando realicen dichos experimentos (t.115.2, t.120 y t.137 - t.138.1).

t.137 Begoña: *Para comprobalo botamos máis auga osixenada.*

t.138.1 Begoña: *E si temos razón [...] a pataca non reaccionará.*

Una vez consideran que sus experimentos (mentales) expresados son correctos, planifican y llevan a cabo sus pruebas experimentales, es decir, pasan a la siguiente fase de la construcción de modelos. Los diseños que realizaron plantean un experimento, ya comentado en el apartado anterior, Exp.B₁ “*Añadir agua oxigenada en los restos de la Act.1*”.

Los resultados que obtienen con relación al Exp.B₁ les lleva a aceptar el modelo B₁ “*Se acabó el enzima*” para la reacción con la patata, ya que al añadir agua oxigenada en el tubo que contiene los productos de la Act.1 con la patata no se produce reacción. Sin embargo, este experimento, en el caso de la reacción con el hígado, les lleva a rechazar el modelo B₁ “*se agotó el enzima*”, ya que al añadir agua oxigenada a los productos de la Act.1 con el hígado se produce reacción. La observación de un resultado incorrecto para el caso del hígado, les lleva rechazar el modelo B₁, y a reelaborar su modelo mental, modificando el modelo B₁ en un segundo modelo que denominamos modelo B₂ “*se acabó el sustrato*” [*el hígado sigue teniendo enzimas*].

Así, identificamos dos modelos consensuados:

modelo B₁ “*se agotó el enzima*” [PATATA]

modelo B₂ “*se acabó el sustrato*” [*el hígado sigue teniendo enzimas*]. [HÍGADO]

No reconsideran planificar un nuevo experimento para demostrar su modelo B₂, sin embargo, deciden, comprobar si las muestras nuevas de hígado y patata contienen enzimas, por lo que realizan con ellas la misma experiencia que en la Act.1 (Exp.B₂ “*Introducir nuevas muestras en agua oxigenada*”).

A pesar de que no hacen explícitos los diseños experimentales para comprobar la validez y limitaciones de sus modelos, realizan dos experimentos. El Exp.B₃ “*Introducir más cantidad de hígado en el tubo del Exp.B₂ con hígado*”, con el cual pretenden observar qué ocurre cuando introducen toda la muestra de hígado (nueva) en los tubos donde se está produciendo la reacción del Exp.B₂ “*Introducir nuevas muestras en agua oxigenada*”. El Exp.B₄ “*Introducir más cantidad agua oxigenada en el tubo del Exp.B₃*”, para comprobar si vuelve a reaccionar el contenido del tubo, después de realizar el Exp.B₃, introduciendo en él más agua oxigenada (fresca), que ellas denominan ‘agua’.

t.436 Belén: *Probasteis a echarle más agua (...)*

t.437 Beatriz: *¿Al que tiene más hígado?*

t.438 Belén: *¡Claro! Para ver si reaccionaría.*

Estos dos experimentos les llevan a validar el modelo B₂ “*se acabó el sustrato*” [*el hígado sigue teniendo enzimas*], puesto que consideran que se acaba el sustrato, pero el hígado sigue teniendo enzimas, ya que al añadirle más cantidad de ‘agua’ vuelve a reaccionar.

t.330 Belén: *[...] si se acaba antes el sustrato, este de [...] del agua, que puede reaccionar con el hígado, y el hígado sigue teniendo enzimas, si echas más agua [...] por eso sigue reaccionando.*

t.340 Beatriz: *O sea [...] si le echas más, vuelve a reaccionar (...)*

t.386 Beatriz: *No, [...] el hígado viejo al añadirle [...] agua reaccionó. Por eso está confirmada nuestra hipótesis.*

Por lo que consideran su objetivo alcanzado. Llegando a la conclusión de que ambos modelos les permiten explicar la detención de las reacciones.

Cuando analizamos el uso del modelo en el informe escrito, comprobamos que exponen los mismos modelos que los que usan en su discurso durante la realización de la tarea.

Así, al analizar el modelo en su informe escrito para la reacción con la patata (Act.3 *¿Por qué paró la reacción con la patata?*), observamos que están representados los enzimas y los sustratos, pero en ningún momento mencionan los productos ni el complejo enzima-sustrato en la elaboración de dicho modelo. Comparando con el modelo escolar, podemos apreciar que en el modelo B₁ “*Se agotó el enzima*”, la explicación que dan a la causa por la que se detiene la reacción es debida a que se termina el enzima, en la muestra de patata. En la figura 5.23 podemos observar una representación de la comparación del modelo B₁ (patata) usado por el grupo B con el modelo escolar. A la izquierda de la figura, representamos el modelo consensuado con relación a la reacción que ocurre cuando se introduce agua oxigenada en un tubo que contiene la patata (resto) y el líquido (resto) de la Act.1, a la derecha representamos los reactivos y sustancias incluidas en el modelo escolar y las correspondencias, indicadas con flechas de doble sentido, con las sustancias implicadas en el modelo B₁ (patata) usado por el grupo B. En el modelo escolar se representa en color rojo las sustancias que no usan en la elaboración de su modelo. Así, observamos que no tienen en cuenta dos componentes del modelo, el complejo enzima-sustrato y el producto, para la elaboración de su modelo.

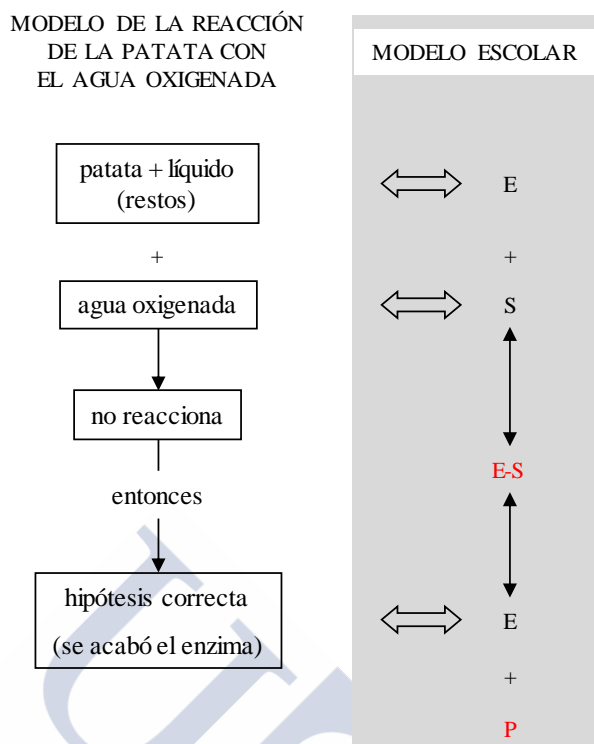


Figura 5.23: Comparación del modelo B₁ (patata) expresado (consensuado) por el grupo B con el modelo escolar, en su informe (Act.3 “¿Por qué paró la reacción con la patata?”). El color rojo indica los elementos que no tienen correspondencia entre el modelo escolar con el modelo del grupo.

Al analizar el modelo que usan, en su informe escrito, para la reacción con el hígado (modelo B₂ “se acabó el sustrato” [el hígado sigue teniendo enzimas]), observamos que están representados los enzimas, los sustratos y los productos, pero en ningún momento mencionan el complejo enzima-sustrato en la elaboración de dicho modelo.

En la figura 5.24 podemos observar una representación de la comparación del modelo B₂ (hígado) usado por el grupo B con el modelo escolar, el cual sigue la estructura ya comentada para la figura 5.23. En este caso la explicación que aportan para la detención de la reacción es que se acaba el sustrato, es decir, una hipótesis rival del modelo B₁ “se agotó el enzima”.

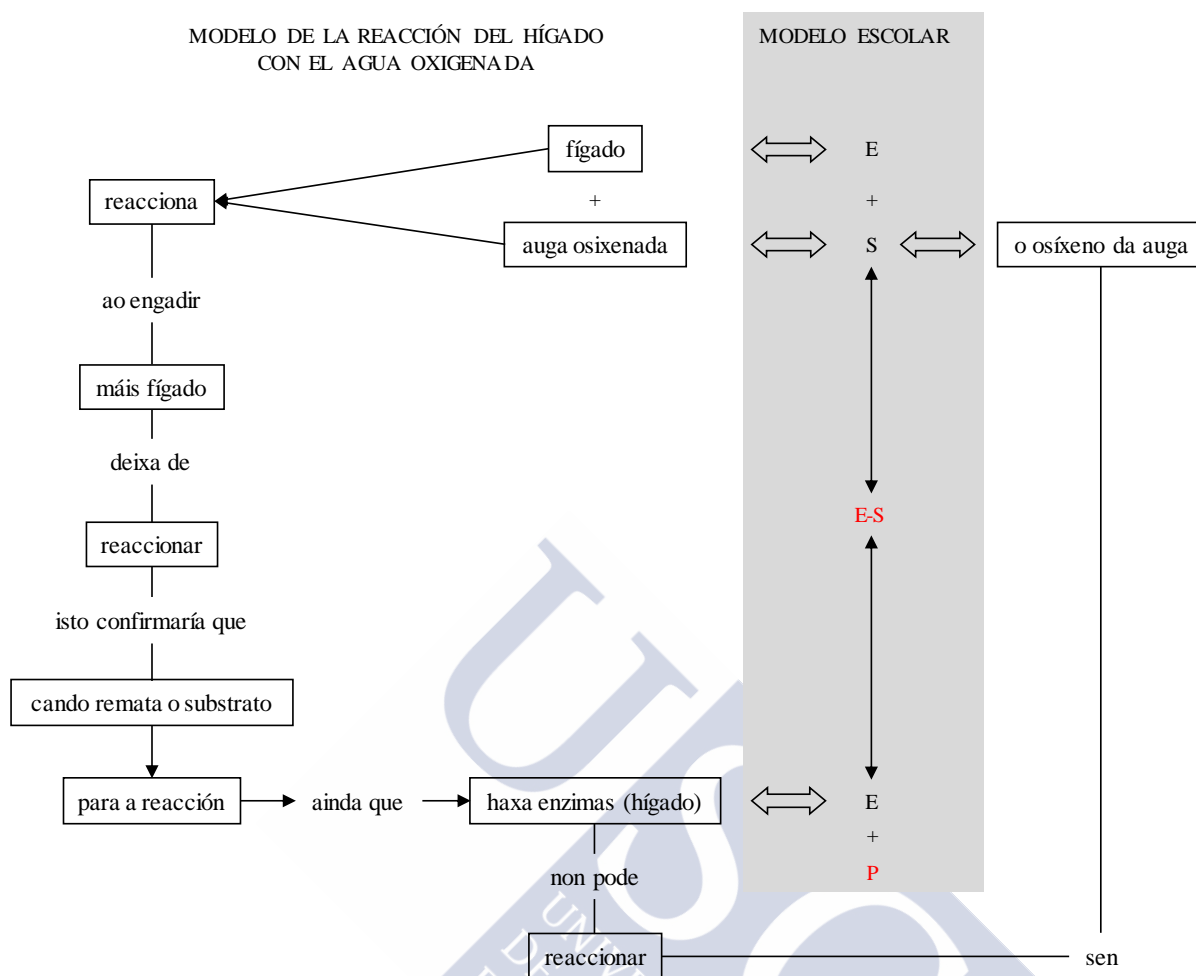


Figura 5.24: Comparación do modelo B₂ (hígado) expresado (consensuado) por o grupo B, en su informe (Act.2 “¿Por qué paró la reacción con el hígado?”), con el modelo escolar. El color rojo indica los elementos que no tienen correspondencia entre el modelo escolar con el modelo del grupo.

Analizados los dos modelos que elaboran estas alumnas, observamos que utilizan los mismos elementos del modelo escolar, tanto para el hígado como para la patata, lo que supondría que no existiría progreso. No obstante, entendemos que hay un ligero progreso en el uso del modelo, ya que en primer lugar realizan el experimento con patata confirmando directamente su hipótesis. En el caso del hígado perciben esta hipótesis como una anomalía, lo que les lleva a realizar experimentos adicionales que conllevan un cambio en su modelo aproximándolo al modelo escolar y lo justifican suponiendo que esta muestra contiene más enzima y que la reacción se detuvo antes de que se estropease el enzima porque se acabó el sustrato.

5.2.4. Discusión y conclusiones parciales del grupo B

A continuación respondemos a las preguntas de investigación de los resultados obtenidos a partir del análisis del grupo B.

1ª pregunta de investigación: *¿Cuál es la calidad de los argumentos que emplean los estudiantes en la resolución del problema?*

A partir de su discurso natural reconstruimos cuatro argumentos trascendentes para el estudio. En su primer argumento, observamos que apelan a una prueba teórica, con la que relacionan los datos implícitos de la Act.1, *la reacción se detiene, no hay burbujas*, con la conclusión, *se agotó el enzima*, consideramos que la prueba a la que apelan no es apropiada, ya que considera que añadiendo más agua oxigenada a los productos de la Act.1 puede comprobar si se “agotó” el enzima. Es decir, su justificación contradice su conclusión, ya que para demostrar que se agotó el enzima, debería añadir enzima a los tubos con los productos de la Act.1 y no sustrato. En su segundo argumento, proponen la conclusión contraria, es decir, proponen la hipótesis rival, *“se acabó el oxígeno”*. Las pruebas que aportan son de tipo teórico, la justificación a la que apelan para relacionar los datos, *la reacción se detiene, no hay burbujas* con la conclusión, *se acabó el oxígeno*, es que los enzimas todavía están presentes en los productos de la Act.1 (patata), y, aunque exista enzima que pueda reaccionar, la causa de la detención de la reacción es el agotamiento del agua oxigenada, a la que se refieren como oxígeno (sustrato). Por tanto, consideramos que las pruebas que integran en este argumento son apropiadas. En su tercer argumento, que les lleva a la conclusión de que *“se esgotaron as enzimas da pataca”* observamos que utilizan pruebas teóricas para justificar los datos. Estas pruebas son que el sustrato sigue en el tubo y que no se producirá reacción en el caso de que se acabaran los enzimas, las cuales consideramos apropiadas ya que relacionan los datos, *la reacción se detiene, no hay burbujas*, con la conclusión, *se agotó el enzima de la patata*, y apelan al motivo de que se detenga la reacción es que se acaban los enzimas, aunque quede agua oxigenada. En este argumento concluyen lo mismo que en el primer argumento, la diferencia entre ambos es que mientras en el primero la justificación que aportan no es apropiada, en este tercer argumento la justificación aportada es apropiada y relaciona de forma coherente los datos con la conclusión. Cuando reconstruimos su cuarto argumento, que les lleva a reformular la Hip.B₂ *“se acabó el sustrato” [el hígado sigue teniendo enzimas]*, observamos que relacionan los mismos datos con la conclusión, *se agotó primero el sustrato en el hígado*, apelando a pruebas

empíricas que proceden de: a) la observación de los resultados obtenidos en el Exp.B₁ “*Añadir agua oxigenada en los productos de la Act.1*”, b) la observación de que el hígado (resto) reaccionó al añadirle una cantidad de agua oxigenada y c) la observación de que la patata (resto) no reaccionó al añadirle una cantidad de agua oxigenada. Además, apelan a pruebas teóricas, con las que explican que el enzima sigue en el tubo, y que el hígado tiene más enzimas que la patata y aún no se acabaron. Además exponen una refutación a la conclusión, pero sin aportar ningún tipo de pruebas con las que justificar dicha oposición, simplemente interpreta que lo que ve en el tubo es el sustrato. Consideramos que las pruebas que aportan para llegar a esta conclusión son apropiadas, ya que explican un motivo por el que se detienen las reacciones.

Cuando evaluamos la calidad de sus argumentos, observamos que va en aumento, pues el primer argumento presentaba un nivel de calidad bajo, el segundo y el tercero son de calidad media y el cuarto es de calidad alta. Así, en líneas generales estas alumnas a) son capaces de relacionar los datos con las conclusiones a partir de justificaciones coherentes, que pueden estar apoyadas por diferentes tipos de pruebas, a excepción del primer argumento expresado por Beatriz, porque su justificación contradice a la conclusión; b) a medida que obtienen pruebas son capaces de hacer refutaciones, aunque c) no contraargumentan ningún argumento de otra estudiante. Las integrantes de este grupo se muestran conformes con lo expuesto por sus compañeras, como se observó en Begoña quien al no tener pruebas con las que convencer al resto del grupo, decide adoptar la hipótesis propuesta por sus compañeras.

2ª pregunta de investigación: *¿En qué medida las líneas argumentativas les llevan a conclusiones acordes con el enunciado del problema?*

Cuando analizamos las líneas argumentativas de este grupo, extraemos dos líneas argumentativas, que siguen para resolver el problema. Consideramos que ambas son coherentes con el enunciado. Utilizan pruebas de diferente tipo, que les llevan a conclusiones de 1^{er} nivel, que comprueban mentalmente de forma experimental para llegar, en cada línea argumentativa a una conclusión de 2º nivel, adecuada al problema que deben resolver. El razonamiento que siguen, en la primera línea argumentativa, les lleva a la conclusión de 2º nivel, *se acabó el enzima de la patata*, está enfocada a la determinación de una posible causa de la detención de la reacción ocurrida en la Act.1 con la muestra de patata, las pruebas a las que apelan para apoyar su hipótesis son adecuadas a la conclusión. En su segunda línea

argumentativa, observamos que el razonamiento que siguen les lleva a la conclusión de 2º nivel, *se acabó el sustrato [el hígado sigue teniendo enzimas]*, la cual consideramos acorde con el enunciado del problema, por lo tanto adecuada, ya que está encaminada a determinar las causas por las que se detienen las reacciones ocurridas en la Act.1, utilizando pruebas coherentes para demostrar sus hipótesis.

3ª pregunta de investigación: *¿En qué medida las hipótesis que formulan son pertinentes para resolver el problema?*

Consideramos que las alumnas que componen este grupo perciben el problema que les planteamos, porque el proceso de indagación que realizan está encaminado a la demostración del motivo por el cual se detuvieron las reacciones de la Act.1. Los datos implícitos de la Act.1, *la reacción se detiene, no hay burbujas*, y las pruebas usadas para llegar a sus conclusiones, les llevan a formular dos hipótesis de partida, que denominamos Hip.B₁ “*se agotó el enzima*” que estimamos pertinentes, ya que el enfoque de la investigación les lleva explicar las posibles causas de la detención de las reacciones y, Hip.B₂ “*se acabó el sustrato*”, esta segunda hipótesis formulada queda sin desarrollar al no aportar pruebas. Sin embargo, cuando observan que los resultados de su experimento, para comprobar la Hip.B₁, les permiten comprobar la hipótesis para el caso de la reacción con la patata, pero no en el caso de la reacción con el hígado, que son contradictorios, fueron capaces de reformular el problema, formulando la hipótesis Hip.B₂ “*se acabó el sustrato*” *[el hígado sigue teniendo enzimas]*, la cual consideramos pertinente por el mismo motivo que la Hip.B₁.

En conclusión, estas alumnas formularon hipótesis “rivales” para comprobar las posibles causas por las que se detienen las reacciones.

4ª pregunta de investigación: *¿En qué medida los estudiantes son capaces de diseñar un experimento para contrastar sus hipótesis?*

La Hip.B₁ “*se agotó el enzima*” la contrastan mediante el experimento Exp.B₁ “*Añadir agua oxigenada en los restos de la Act.1*”, con el que pretenden controlar la variable “el enzima se agota”, puesto que lo diseñan para comprobar que al añadir agua oxigenada a los restos de la Act.1 no se produce reacción. En el caso de los restos de la Act.1 (patata) queda aceptada, porque no se produce reacción, pero en el caso de los restos de la Act.1 (hígado) se produce reacción, por lo que la rechazan.

Para comprobar si las muestras (nuevas) contienen enzima, deciden realizar la misma experiencia que en Act.1, a este experimento lo denominamos Exp.B₂ “*Introducir nuevas muestras en agua oxigenada*”, observando que se produce reacción. Sin embargo, al plantearseles el problema de la diferencia en los resultados del Exp.B₁ deciden realizar un nuevo experimento, que denominamos Exp.B₃ “*Introducir más cantidad de hígado en el tubo del Exp.B₂ con hígado*”, no obstante, consideramos que la planificación de este experimento tiene algunas carencias, pues lo realizan, como ya indicamos en apartados anteriores, ‘para ver qué pasa’. Así, los resultados observados en este experimento, la detención de la reacción al añadir todo el hígado aportado por la investigadora, les lleva a la conclusión de que el hígado sigue teniendo enzimas y lo que se termina es el sustrato en las reacciones ocurridas en la Act.1 (hígado), contrastando la Hip.B₂ “*se acabó el sustrato*” [el hígado sigue teniendo enzimas]. Además, proponen un nuevo experimento para comprobar si la reacción se activaría al añadir agua oxigenada al Exp.B₃, a este experimento lo denominamos Exp.B₄ “*Introducir más cantidad agua oxigenada en el tubo del Exp.B₃*”.

Consideramos que los experimentos que diseñan les permiten contrastar las hipótesis formuladas, porque les permiten determinar las posibles causas por las que se detienen las reacciones. Además, son experimentos nuevos, planificados por ellas para contrastar sus hipótesis, que son pertinentes, de modo que la calidad del proceso de indagación es alta.

Como ya indicamos anteriormente, perciben el problema, formulan y reformulan hipótesis, diseñan cuatro experimentos, los dos primeros los planifican y los dos últimos los realizan ‘para ver qué pasa’, y los llevan a cabo. Controlan las variables implicadas. Aunque no diseñen experimentos específicos, para evaluar si sus experimentos permiten dar por válidos los resultados que obtienen, los que realizan ‘para ver qué pasa’, cumplen esta función, lo que les permiten llegar a una resolución del problema planteado.

5ª pregunta de investigación: *¿Cómo construyen, evalúan y modifican sus modelos?*

A partir de la experiencia que tienen con el objeto a modelar, que es la realización de la experiencia Act.1 “*Acción catalítica de los enzimas*”, en la cual observaban las reacciones que se producen al introducir muestras de enzima catalasa contenida en hígado y patata en tubos que contenían agua oxigenada, y a partir de la observación de la detención de dichas reacciones y de la información aportada para ayudarles a la realización de la actividad construyen su primer modelo expresado/consensuado, que denominamos modelo B₁ “*se agotó el enzima*”.

Observamos que realizan experimentos mentales, y son capaces de realizar predicciones con ellos (García-Rodeja Gayoso y Lima de Oliveira, 2012) acerca lo que creen que ocurrirá en las reacciones. Planifican los experimentos que realizan para comprobar si su modelo es adecuado, y cuando consideran el resultado incorrecto rechazan ese modelo. Esto tuvo lugar en el caso de la reacción producida entre el agua oxigenada y el enzima contenido en la muestra de hígado, al observar que se produce reacción cuando realizan el Exp.B₁ con los restos de la Act.1 (hígado), por lo que rechazan el modelo B₁ “*se agotó el enzima*” para usar el modelo B₂ “*se acabó el sustrato*” [*el hígado sigue teniendo enzimas*], porque observan que ocurre lo contrario de lo que predicen. Por tanto, estas alumnas son capaces de elaborar un segundo modelo expresado/consensuado que les permite explicar la detención de la reacción ocurrida en la Act.1 (hígado). Así, usan dos modelos, uno para el caso de la patata y otro para el caso del hígado. Aunque no explicitan que los experimentos que realizan, posteriormente, son para comprobar la validez y las limitaciones de sus modelos, estos experimentos les sirven para validar que sus modelos son correctos.

6ª pregunta de investigación: *¿En qué medida los modelos elaborados por los estudiantes permiten explicar la detención de las reacciones enzimáticas?*

Como comentamos en la pregunta anterior, estas alumnas construyen dos modelos, su primer modelo B₁ “*se agotó el enzima*”, les sirve para dar explicación a la detención de la reacción ocurrida con la patata, es decir, al observar que no se produce reacción al añadir agua oxigenada en los restos de la Act.1 (patata), por tanto, lo que se terminó en la reacción de la Act.1 (patata) es el enzima. Su segundo modelo B₂ “*se acabó el sustrato*” [*el hígado sigue teniendo enzimas*], les sirve para explicar la detención de la reacción ocurrida con el hígado, a partir de sus experimentos, al observar a) que se produce reacción al añadir agua oxigenada a los restos de la Act.1 (hígado), por tanto, no puede haberse acabado el enzima, b) que se produce reacción al repetir la experiencia de la Act.1 con reactivos nuevos, es decir, el hígado (nuevo) tiene enzima, c) al detenerse la reacción al añadir todo el hígado aportado para la actividad, porque hay demasiado enzima y acaba con el sustrato, y d) al reactivarse la reacción al añadir más agua oxigenada, es decir, vuelve a haber sustrato para unirse con el enzima.

Por tanto, consideramos que los modelos que emplean les permiten explicar la detención de las reacciones ocurridas en la Act.1, es decir, dan respuesta al problema planteado.

Sin embargo, al comparar los modelos con el modelo referencial se comprueba que no tuvieron en cuenta el estado de transición en el que el enzima y el sustrato están unidos formando el complejo enzima-sustrato y tampoco tuvieron en cuenta al producto con lo que los modelos quedan incompletos. Sin embargo, entendemos que hay un ligero progreso en el uso del modelo cuando intentan dar una explicación a la diferencia observada en los resultados de sus experimentos.



5.3. RESULTADOS DEL GRUPO C

Este grupo está formado por cuatro chicas a las que denominamos Carme, Carla, Celia y Clara. Se distribuyen espontáneamente el trabajo, de tal manera que Carla y Celia son las que se implican con mayor intensidad en la realización de las actividades: argumentan más, elaboran las hipótesis, describen los experimentos y justifican sus actuaciones y conclusiones. Carme y Clara tienen un comportamiento más pasivo: se encargan principalmente de escribir los informes, solicitando, además, que las otras integrantes del grupo se lo dicten.

5.3.1. El proceso de argumentación

Analizamos el proceso de argumentación, a través del cual llegan a acuerdos que les permitan dar respuesta al problema. A partir del discurso natural interpretamos cuatro argumentos relevantes, que representamos con el TAP. Asimismo, utilizando el análisis de la argumentación, inferimos las líneas argumentativas que siguen hasta alcanzar sus conclusiones finales.

Para la construcción de su primer argumento, parten de los datos implícitos en la Act.1, *la reacción se detiene, no hay burbujas*, para llegar a la conclusión, que consideramos su primera hipótesis Hip.C₁ “*los enzimas frenan la reacción*”, que se corresponde con la conclusión de 1^{er} nivel de la 1^a línea argumentativa. Emiten esta hipótesis cuando observan que los tubos con los restos de las reacciones producidas en la sesión anterior no tienen burbujas, es decir, no hay reacción [dato]. Para relacionar los datos con la conclusión Carla y Celia apelan a pruebas de tipo teórico, recogidas en la figura 5.29, con las que justifican que la función de los enzimas es ser catalizadores que detienen la reacción, y que los enzimas rebajan la energía de activación, provocando la aceleración de la reacción.

t.52.2 Carla: *las enzimas son catalizadores que paran la reacción.*

t.54 Carla: [...] *las enzimas son catalizadores [...] y eso es un enzima, y paró la reacción.*

t.64 Celia: *A ver, yo es que lo que no entendía antes fue que decía que [...] el enzima le quitaba energía a la reacción[...] y eso hacía que fuera más deprisa.*

Consideramos que la prueba aportada por Carla (t.52.1 y t.54) no es coherente con la conclusión, porque con ella justifican que los enzimas son los responsables de detener la

reacción. Sin embargo, en sí misma es una idea alternativa sobre el funcionamiento de los enzimas. Consideramos que la prueba aportada por Celia (t.64) no es apropiada, ya que justifica que el enzima al rebajar la energía provoca la aceleración de la reacción. Sin embargo la conclusión a la que llegan es contraria al exponer que los enzimas frenan la reacción. A esta prueba, que aporta Celia (t.64) empleando la energía de activación, se opone Carla (t.65) *No, a lo mejor eso es lo que para la [...] por lo que para [...]*. Celia intenta interpretar este comentario de Carla y propone un mecanismo básicamente correcto que, al producirse más deprisa la reacción, se detiene antes y, si la reacción se produce de forma más lenta, continúa por más tiempo.

t.66 Celia: *O sea, que es más deprisa, pero que acaba antes.*

t.68 Celia: *Y cuanto más lenta[...]*

t.70 Celia: *[...] más dura.*

Por su parte, Carla concluye que el motivo de que las reacciones vayan más lentas se debe a que tienen más enzimas y lo que hacen es frenar la reacción, sin entender la interpretación de Celia.

t.73 Carla: *¡Claro! Los que iban más lento, es que son más enzimas.*

t.76 Carla: *Los que iban más lentos [...]*

t.78 Carla: *[...]es que son más enzimas [...] por que frenan [...]*

[Hip.C₁]

Carla llega a la conclusión (Hip.C₁) interpretando la información de forma errónea, pues confunde el hecho de que los enzimas reduzcan la energía de activación con la cantidad de enzima que contiene la muestra. De hecho, considera que la velocidad de reacción es menor en la muestra que, según ella, contiene más enzimas, aplicando la definición de enzima que manifiesta en t.52 (Carla). Esto, junto a que la estructura del argumento (figura 5.25) es sencilla, nos lleva a considerar que la calidad del argumento es baja.

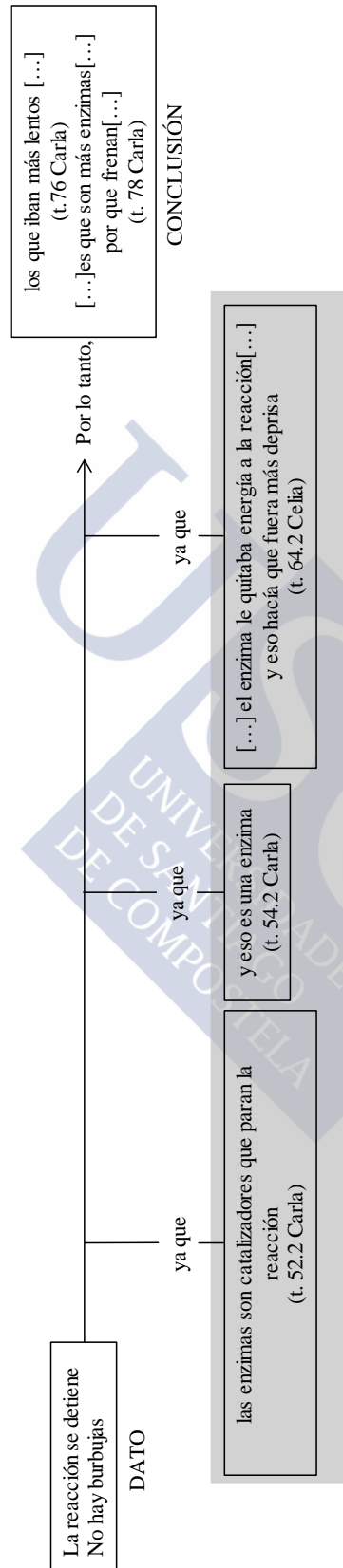


Figura 5.25: Argumento del grupo C en el que exponen su hipótesis Hip.C1 “los enzimas frenan la reacción”, sobre las causas de la detención de las reacciones

El segundo argumento que construyen surge de los mismos datos, *la reacción se detiene, no hay burbujas*, sin embargo, apelan a diferentes pruebas con las que apoyan la conclusión, que consideramos su segunda hipótesis Hip.C₂ “*los enzimas se desnaturalizan*”. Las pruebas a las que apelan para apoyar esta hipótesis son de tipo teórico y son aportadas por Celia al interpretar en la hoja de ayuda los factores que afectan a los enzimas, que son la concentración de sustrato y la desnaturalización del enzima (Celia, t.310.1) *Una cosa, si uno de los factores que afectan a las enzimas es la concentración de sustrato [...] y si se desnaturalizan no funcionan*, (recogidas en la figura 5.29). Consideramos que esta prueba es apropiada, pues la justificación contempla una prueba coherente con la bioquímica de los enzimas. En relación a la complejidad estructural es un argumento sencillo al estar compuesto por los tres elementos principales, de modo que la calidad de este argumento es media. Este argumento se muestra en la figura 5.26, en el que las pruebas aportadas se integran en la justificación que relaciona los datos con la conclusión de 1^{er} nivel o hipótesis (Hip.C₂ “*los enzimas se desnaturalizan*”).

t.310.2 Celia: *significa que las enzimas, estas del hígado se desnaturalizaron [...]*

t.312 Celia: *[...] después de la reacción [...] y que por eso ya no sigue habiendo reacción.*

[Hip.C₂]

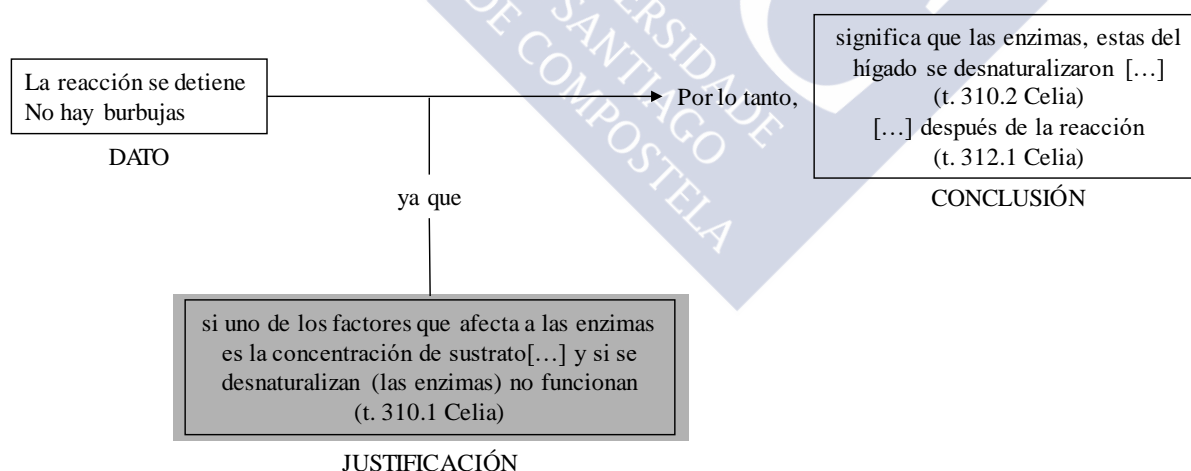


Figura 5.26: Argumento del grupo C en el que exponen su hipótesis sobre las causas de la detención de las reacciones debido a la desnaturalización de los enzimas (Hip.C₂ “*los enzimas se desnaturalizan*”).

Con este argumento justifican la causa de que se detengan las reacciones a la desnaturalización de los enzimas. Para reforzar su hipótesis, Celia hace una analogía comparando a los enzimas con pilas agotadas (Celia, t.313) *Se agotaron ya no tienen pilas, no dan para más*. Sin embargo, confunde los términos, sustituyendo desnaturalización por agotamiento, por lo que suponemos que probablemente no entienda el concepto de desnaturalización.

El tercer argumento (figura 5.27) que construyen, surge al relacionar los datos implícitos en la Act.1, *la reacción se detiene, no hay burbujas*, con la conclusión, que consideramos su tercera hipótesis y que denominamos Hip.C₃ “*el hígado reacciona más rápido porque es más catalizador, la patata reacciona más lento porque es menos catalizador*”. Para justificar este argumento apelan a datos de dos tipos: empíricos y teóricos, recogidos en la figura 5.29.

La prueba de tipo empírico es la formación de burbujas que se producen en la reacción.

t.358 Clara: *Más lenta (...) [...] A ver, reaccionó rápido, pero más lento que el hígado*

t.359 Celia: *La reacción duró más.*

t.373 Carla: *No, pero en la catalizada va más rápido, no te acuerdas que fue mucho más rápido el hígado que la patata.*

Apelan a pruebas teóricas para exponer (Celia, t.161) que el catalizador acelera la reacción y rebaja la energía de activación, y comparando las gráficas incluidas en la hoja de ayuda Celia (t.370) considera que para que se produzca la reacción, la energía tiene que llegar al punto máximo en la gráfica, por eso en una reacción no catalizada la energía llega hasta su límite y descende. Carla (t.379) considera que por eso una reacción se completa y la otra no, reforzando esta prueba Celia (t.380) señala, en las gráficas, cual es la reacción catalizada y la no catalizada. Por lo que Carla, interpretando de forma errónea las gráficas, explica que las reacciones catalizadas no se completan (Carla, t.382.1) *¡Claro! [...] la catalizada es la que no se completa*. Además, apoyan su Hip.C₃ apelando a las pruebas empíricas, que parten de la observación de que la velocidad de reacción de la patata con el agua oxigenada fue más lenta (Clara, t.358, Celia, t.359 y Carla, t.373).

t.161 Celia: *[...] dice que [...] el catalizador acelera la reacción [...] pero baja la energía de la reacción [...]*

t.370 Celia: *[...] porque mira esto. En una reacción no catalizada [...] la energía llega [...] hasta su límite y baja.*

t.379 Carla: [...] *aquí [...] llega [...] aquí se [...] aquí se completa la reacción y aquí nunca se llega a completar.*

t.380 Celia: *Si esta está catalizada y esta no.*

t.382.1 Carla: *¡Claro! [...] la catalizada es la que no se completa.*

Consideramos que con estas justificaciones sustentan la conclusión, pero no la relacionan de forma coherente con los datos de los que parten, porque les permiten explicar las diferencias en las velocidades de reacción, pero no explican por qué se detienen las reacciones. Por lo que consideramos que las pruebas no son apropiadas y la estructura del argumento es sencilla, aunque englobe una justificación más completa que los anteriores, así la calidad de este argumento es baja.



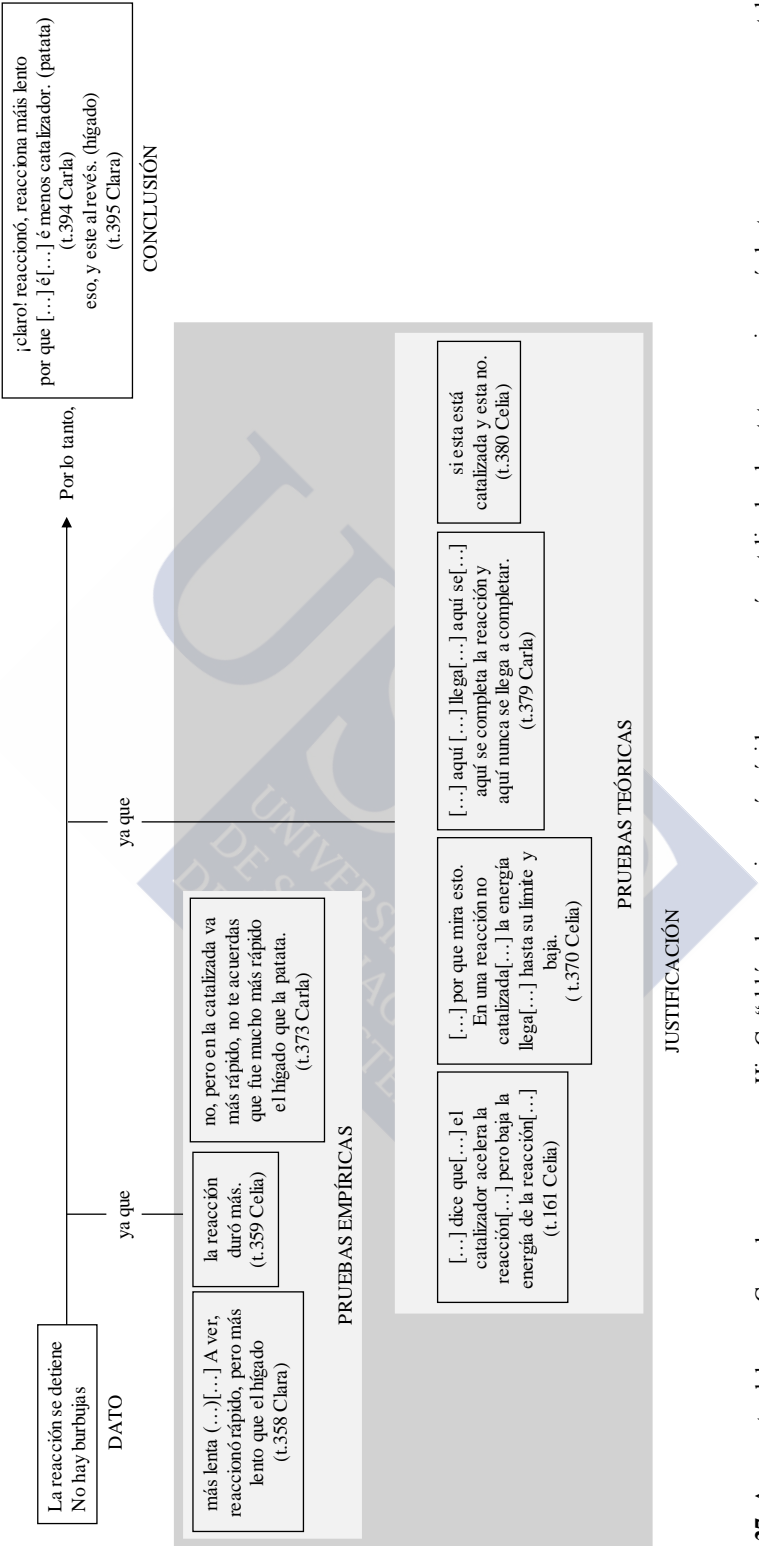


Figura 5.27: Argumento del grupo C en el que exponen su Hip.C₃ “el hígado reacciona más rápido porque es más catalizador, la patata reacciona más lento porque es menos catalizador”, sobre la velocidad de reacción de las reacciones

El cuarto argumento (figura 5.28) lo construyen cuando relacionan los datos implícitos en la Act.1, *la reacción se detiene, no hay burbujas*, con su cuarta conclusión, en la que exponen su hipótesis Hip.C4 “*el sustrato se convierte en producto, el enzima se recupera*”, expresada por Carla (t.493) *La reacción pasó de enzima sustrato y paró por que acabó en enzima más producto*”. Justifican la conclusión apelando a pruebas empíricas y a pruebas teóricas.

La prueba de tipo empírico la aportan a partir de la observación del burbujeo al producirse la reacción.

t.481.2 Carla: *pero como tenía burbujitas[...]*

Con las pruebas de tipo teórico Carla expone el proceso que sufren los reactivos de la reacción (Carla, t.273 y t.275) y Celia indica que los enzimas no se alteran en la reacción, se recuperan (Celia, t.448 y t.450.1).

t.124 Carla: *No, el sustrato creo que es el agua[...] oxigenada, y el [...] la enzima, esa es el hígado.*

t.273 Carla: *Antes había enzima sustrato [...]*

t.275 Carla: *[...]después hubo una [...] un complejo enzima-sustrato y después quedó el enzima que es la [...] cosa que hay abajo y el sustrato es el producto que es el liquidito ese que está por aquí.*

t.448 Celia: *Mira, los enzimas no son alterados químicamente por la reacción, [...]*

t.450.1 Celia: *[...] o sea que se recuperan al final. [...]*

Consideramos que las pruebas que aportan para relacionar los datos con esta conclusión son apropiadas, pues les permiten explicar la detención de las reacciones. Asimismo, la estructura es sencilla, por tanto, consideramos que este argumento es calidad media.

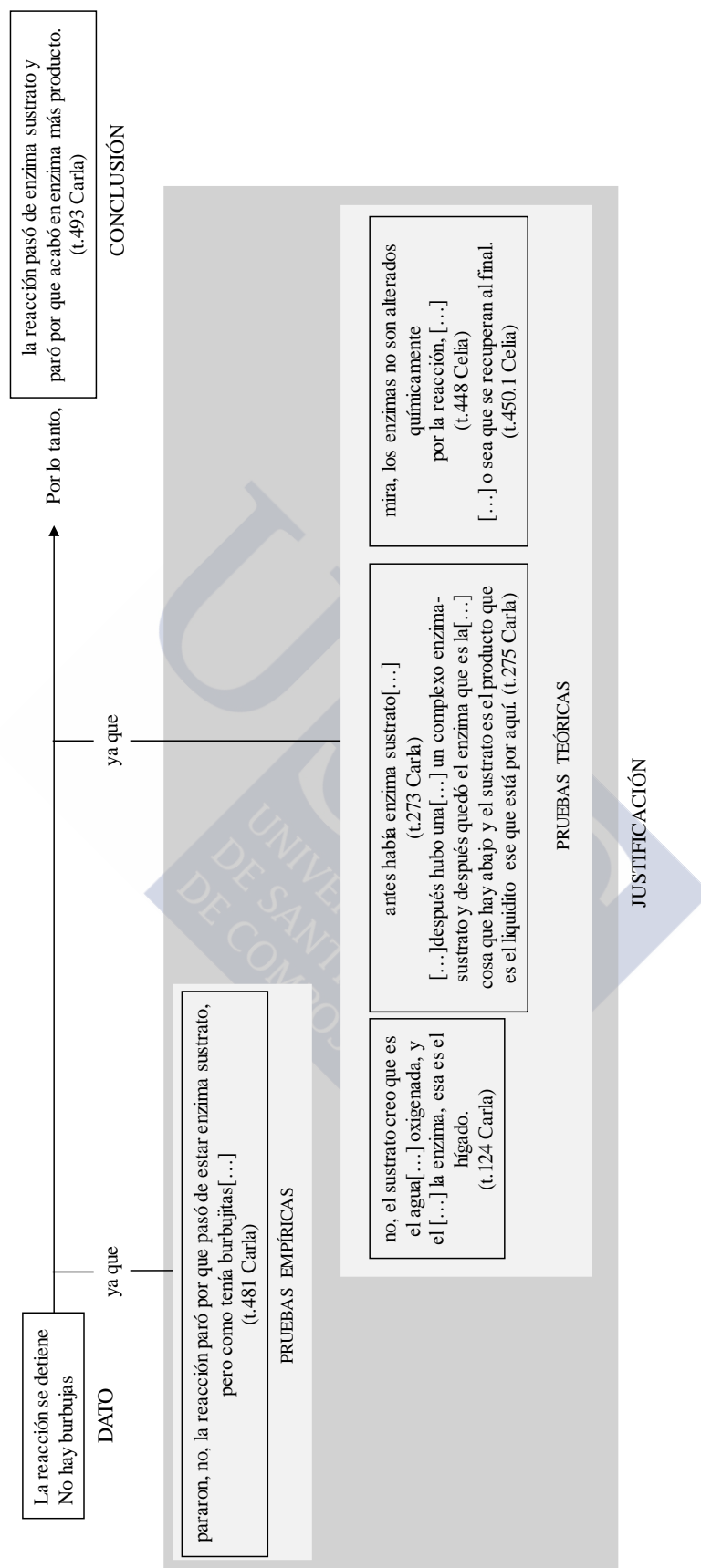


Figura 5.28: Argumento del grupo C en el que exponen su Hip.C₄ “*el sustrato se convierte en producto*” sobre las posibles causas de la detención de las reacciones

Interpretamos que cada uno de estos cuatro argumentos relevantes está incluido en una de las líneas argumentativas que siguen. Por tanto, inferimos cuatro líneas argumentativas, que se resumen en la figura 5.29 y se analizan a continuación.

De la primera línea argumentativa (figura 5.29) se infiere su primera hipótesis Hip.C₁ “*los enzimas frenan la reacción*”, correspondiente a la conclusión de 1^{er} nivel. El argumento con el que justifican esta hipótesis está representado en la figura 5.23. Esta línea comienza con la interpretación de los datos implícitos en la Act.1, *la reacción se detiene, no hay burbujas*, usando pruebas teóricas, los enzimas son catalizadores que detienen la reacción (Carla, t.52.2 y t.54) y los enzimas rebajan la energía de activación (Celia, t.64), con las que llegan a la mencionada conclusión. A pesar de la interpretación de Celia (t.64), las alumnas hacen suya la forma de pensar de Carla, entendiendo que los enzimas frenan las reacciones. Esta línea argumentativa queda abandonada, en este punto, al no realizar experimentos “mentales” para contrastar si con ella pueden dar respuesta al problema.

La segunda línea argumentativa (figura 5.29) se infiere cuando exponen su segunda hipótesis, Hip.C₂ “*los enzimas se desnaturalizan*” que se corresponde con la conclusión 1^{er} nivel, expuesta por Celia (t.310.2 y t.312) ya tratadas en la página 170. Esta conclusión está apoyada con pruebas teóricas de la interpretación que hacen de la hoja de ayuda sobre los factores que afectan a los enzimas, la concentración de sustrato y la desnaturalización del enzima (Celia, t.310.1). El argumento con el que justifican esta hipótesis está representado en la figura 5.26.

Consideramos que la hipótesis de la desnaturalización de los enzimas es aceptada por el grupo, ya que piensan escribirla en ambos informes, es decir, en el informe en el que tienen que indicar por qué se detiene la reacción con el hígado y en el informe sobre la reacción con la patata. Puesto que interpretan que ambas reacciones se detienen por la misma causa, pero sin especificar cuál.

t.321 Celia: *Ponemos, hipótesis [...] creemos que [...]*

t.322 Carme: *Y ¿aquí también? (patata)*

t.323 Clara: *¡Vale!*

t.324 Celia: *(...) hipótesis (...)*

t.325 Carme: *Es que pararon por lo mismo, por que paró la reacción con la patata y la reacción con el [...]*

DATOS (implícitos Act.1)	PRUEBAS 1 ^{er} NIVEL	CONCLUSIONES 1 ^o NIVEL (HIPÓTESIS)	REALIZAN EXPERIMENTOS “MENTALES”	CONCLUSIONES 2 ^o NIVEL
1 ^a LÍNEA ARGUMENTATIVA	<p>Teóricas</p> <ul style="list-style-type: none"> • los enzimas son catalizadores que detienen la reacción • los enzimas rebajan la energía de activación 	los enzimas frenan la reacción		
2 ^a LÍNEA ARGUMENTATIVA	<p>Teóricas</p> <ul style="list-style-type: none"> • los factores que afectan a la función de los enzimas son la concentración de sustrato y la desnaturalización del enzima (temperatura y pH) 	los enzimas se desnaturalizan		
3 ^a LÍNEA ARGUMENTATIVA	<p>Empíricas</p> <ul style="list-style-type: none"> • la observación de la diferencia en las velocidades iniciales de reacción • el tiempo de duración de la reacción <p>Teóricas</p> <ul style="list-style-type: none"> • la función del catalizador es acelerar y rebajar la energía de activación • la interpretación de las gráficas de las reacciones catalizadas y no catalizadas 	<p>la patata reacciona más lento porque es menos catalizador que el hígado</p>	<p>lo demuestran realizando la experiencia de la Act.1</p>	<p>el hígado reacciona más rápido porque es más catalizador.</p> <p>la patata reacciona más lento porque es menos catalizador</p>
4 ^a LÍNEA ARGUMENTATIVA	<p>Empíricas</p> <ul style="list-style-type: none"> • la observación de las burbujas al producirse la reacción <p>Teóricas</p> <ul style="list-style-type: none"> • el sustrato es el agua oxigenada y el enzima es el hígado • el modelo expresado de Carla • los enzimas se recuperan, no tienen cambio químico 	el sustrato se convierte en producto, el enzima se recupera	añadir agua oxigenada en los tubos con los restos de la Act.1	el sustrato se convierte en producto, el enzima se recupera

Figura 5.29: Líneas argumentativas que siguen el grupo C.

Sin embargo, al no realizar experimentos “mentales” para contrastar si esta hipótesis es correcta o no, la abandonan, a pesar de que tenían la intención de escribirla en su informe, no la incluyeron. De todas formas, esta línea sería adecuada pues las pruebas que engloba son apropiadas ya que van encaminadas a explicar las causas por las que se detienen las reacciones.

La tercera línea argumentativa (figura 5.29) se infiere cuando formulan su tercera hipótesis, que denominamos Hip.C₃ “*el hígado reacciona más rápido porque es más catalizador, la patata reacciona más lento porque es menos catalizador*”. Consideramos que esta línea argumentativa comenzó antes que la segunda línea argumentativa, no obstante, la mayoría de las pruebas que sustentan la tercera línea argumentativa fueron aportadas a posteriori. Es por ello que esta tercera línea queda interrumpida en el momento de su discurso cuando formularon su segunda hipótesis. Entendemos que, esta tercera línea argumentativa, comienza en el momento del discurso cuando a Celia le surge la duda sobre los componentes de la reacción (Celia, t.123) *A ver, el sustrato qué se supone que es [...] ¿el hígado este ya medio pocho?*. Carla apela a sus conocimientos indicando que “cree” que el sustrato es el agua oxigenada y el enzima el hígado (Carla, t.124) *No, el sustrato creo que es el agua [...] oxigenada, y el [...] la enzima, esa es el hígado*. Para asegurarse, llaman a la profesora, esta les recuerda la actividad que realizaron con azúcar y ceniza (Profesora, t.148) *O sea, la ceniza [...] (Profesora, t.150) [...] la acelera [...] como si fuera un guardia de tráfico[...] ¿um? La ceniza acelera, la velocidad de reacción, la combustión*. Con esta ayuda, Celia apela a una prueba teórica (Celia, t.161) *[...] dice que [...] el catalizador acelera la reacción [...] pero baja la energía de la reacción [...]*, a pesar del aporte de esta prueba, Carla sigue considerando que los enzimas aceleran la reacción y después la detienen (Carla, t.162) *Noo, lo que pasa es que acelera la reacción [...] y después la para [...] en plan ¡pasó, ya pasó!* No llegan a un acuerdo, siguen con dudas, y deciden preguntar a la investigadora, que les remite a la información adjuntada en la hoja de ayuda (anexo II). En esa hoja de ayuda se muestran las gráficas de la cinética enzimática las cuales Carla trata de interpretar (Carla, t.230.1) *¡Claro! [...] rebaixan a enerxía de activación da da reacción, porque [...] no ves, [...] que aquí llega mucho más alto y aquí para [...]*. La interpretación que hacen de las gráficas es errónea, porque consideran que para que se produzca la reacción la energía tiene que ser mayor (t.242, t.243 y t.244).

t.239 Carla: *A ver, no. Esto es la [...] barrera de energía, y no veis que aquí [...] ¡claro! Rebaixan a enerxía de activación da reacción porque aquí si activo la reacción y llega hasta arriba, y aquí [...] (...)*

t.240 Clara: *¡Vale!*

t.241 Celia: *Ya. [...] en las dos, baja igual.*

t.242 Carla: *No, tía, porque aquí sube, pero aquíii [...] no sube hasta arriba.*

t.243 Celia: *Aquí sube mucho y aquí no llega a subir jamás [...]*

t.244 Carla: *¡Claro! no llega, no llega y por eso no llega a darse la reacción.*

t.246 Celia: *O sea que, cuando se acelera se da la reacción y si no se acelera no se da.*

En este momento, la tercera línea argumentativa se interrumpe por la segunda línea argumentativa, ya comentada.

Retoman la tercera línea argumentativa, cuando tratan de recordar las diferencias que hubo en las velocidades de reacción ocurridas con el agua oxigenada y el hígado y con el agua oxigenada y la patata, centrándose en dichas velocidades de reacción. Carla pregunta (Carla, t.326) *Pero [...] ¿Cuál había ido más rápido?* A lo que sus compañeras indican que la reacción con el hígado era la más rápida.

t.327 Celia: *El hígado.*

t.328 Clara: *El hígado.*

t.329 Carla: *Había ido más rápido el hígado, ¿no?*

Carla (t.338 y t.340) concluye que, como la patata reaccionó menos que el hígado debe ser menos catalizador, aludiendo a la velocidad de reacción y no a las posibles causas de la detención de las reacciones de la Act.1 “*Acción catalítica dos enzimas*”.

t.338 Carla: *Suponemos que la patata es menos [...] reaccionó menos porque es menos [...] tiene menos [...]*

[Hip.C₃]

t.339 Celia: *¿Catalasa?*

t.340 Carla: *Es menos catalizador, ¿o no?*

Esta tercera línea argumentativa surge de los datos implícitos Act.1, *la reacción se detiene, no hay burbujas*, sin embargo, apelan a pruebas 1) empíricas: al estimar la diferencia en las velocidades de reacción (Clara, 358.2, Carla, 373) y el tiempo de duración de la reacción (Celia, 359) y 2) teóricas: la función del catalizador es acelerar y rebajar la energía de

activación (Celia, t.161), la interpretación de las gráficas de las reacciones catalizadas y no catalizadas (Celia, t.370, t.379 y t.380), apoyándose en dichas gráficas, interpreta que en la reacción no catalizada la energía llega hasta el límite superior y desciende, pero no sabe dar una explicación a la gráfica de la reacción catalizada (tratadas en la página 171 y 172). Consideramos que esta hipótesis no es coherente con el problema planteado, ya que las explicaciones no permiten determinar las causas por las que se detienen las reacciones, porque su razonamiento se centra en las velocidades de reacción.

Cuando deciden escribir el informe, Carme solicita que dirijan la redacción (Carme, t.390) *Bueno, reaccionou máis lento por quee[...]*, en ese momento exponen la conclusión de 1^{er} nivel de esta 3^a línea argumentativa,

t.394 Carla: *¡Claro! Reaccionó, reacciona máis lento (patata) por que [...] é[...] é menos catalizador.* [Conclusión de 1^{er} nivel (patata)]

t.395 Clara: *Eso, y este al revés.* [Conclusión de 1^{er} nivel (hígado)]

El argumento con el que justifican esta hipótesis está representado en la figura 5.27.

Sin embargo, Celia aún tiene dudas y pregunta (Celia, t. 392) *Es que, además[...] ¿Cómo lo demuestras?* Carla contesta a esta pregunta, siguiendo esta línea argumentativa, realizando experimentos “mentales” para contrastar su hipótesis (Carla, t.396) *Si, reaccionó más rápido (hígado) y lo experimentamos volviendo a hacer lo mismo que la otra vez*, indicando que lo contrastarán realizando el mismo experimento que en la Act.1 “*Acción catalítica dos enzimas*”, cuando lo contrastan de forma experimental, aceptan su Hip.C₃, llegando a la conclusión de 2^o nivel, concluyendo esta línea argumentativa.

Esta hipótesis la recogen en sus informes:

“*Reaccionou máis rápido porque é máis catalizador*” (informe Act.2, 1^{er} párrafo)

“*Reaccionou máis lento porque é menos catalizador*” (informe Act.3, 1^{er} párrafo)

Esta 3^a línea argumentativa consideramos que es opuesta a la primera, ya que mientras que en la Hip.C₁ consideran que la función de los enzimas es frenar la reacción, en la Hip.C₃ consideran que dicha función es acelerarla. Esta línea argumentativa no persigue responder a las causas por las que se detienen las reacciones, sino que se desvía para explicar el diferente burbujeo en la reacción con la patata y el hígado, por lo que la consideramos no adecuada.

La cuarta y última línea argumentativa se infiere cuando exponen su cuarta hipótesis Hip.C4 “*el sustrato se convierte en producto, el enzima se recupera*” (figura 5.28), correspondiente a la conclusión de 1^{er} nivel, que surge de los mismos datos, *la reacción se detiene, no hay burbujas*, y es respaldada por pruebas empíricas: el burbujeo que se produce en la reacción (Carla, t.481.2) y pruebas teóricas: el sustrato es el agua oxigenada y el enzima es el hígado (Carla, t.124), el modelo expresado, de la reacción enzimática, de Carla (Carla, t.273 y t.275), y los enzimas se recuperan, no tienen cambio químico (Celia, t.448 t.450.1), tratadas en la página 174.

De nuevo, Carme solicita ayuda para redactar esta parte del informe (Carme, t.491) *A ver, la reacción paso de enzima [...], entonces Carla concluye, que la reacción finalizó porque el sustrato se transformó en producto y el enzima se recuperó.*

t.493 Carla: *La reacción pasó de enzima sustrato y paró por que acabó en enzima más producto.* [Conclusión de 1^{er} nivel]

Siguiendo esta línea argumentativa, Celia realiza un experimento “mental” para contrastar la Hip.C4, el cual es aceptado por Carla.

t.495 Celia: *Mira, si se echa [...] si se echara más mierdecilla de agua aquí [...]*

t.497 Celia: *¿Habría otra reacción?*

t.499 Carla: *A ver, probamos a ver qué pasa.*

Después de realizar el experimento, y observar que se cumplen sus predicciones, aceptan la Hip.C4, llegando a la conclusión de 2^o nivel, finalizando esta línea argumentativa.

Esta cuarta hipótesis sí la incluyen en el informe y formulan la misma para ambas muestras “*A reacción parou porque pasou de complexo encima a substrato a enzima máis produto, que é o líquido con cor máis oscura.*” (informe Act.2, 2^o párrafo).

Además, indican lo que creen que pasará cuando realicen el experimento, pero en este caso, la predicción cambia según la muestra, “*Ao botar máis auga osixenada no fígado anterior a reacción é máis rápida*” (informe Act.2, 3^{er} párrafo) y “*Se botamos máis auga osixenada na pataca anterior seguirá reaccionando*” (informe Act.3, 3^{er} párrafo).

Consideramos que esta última línea argumentativa es adecuada, porque los razonamientos que siguen tratan de dar respuesta al enunciado del problema.

5.3.2. El proceso de indagación

Una vez analizado el discurso argumentativo del grupo C, nos centramos en analizar cómo llevan a cabo los experimentos que les permitan contrastar sus hipótesis, utilizando como herramienta las etapas de investigación según el proyecto APU (1984) (figura 5.30).

En la primera etapa de la investigación observamos que estas alumnas perciben el problema que les planteamos, aunque, en un momento de la actividad vuelven a la experiencia de la Act.1, cuando Carla pregunta cuál de las reacciones fue más rápida, (Carla, t.326) *Pero [...] ¿cuál había ido más rápido?* Sin embargo, recuperan la percepción del problema.

Como se ha comentado, estas chicas van cambiando las hipótesis a medida que van aportando diferentes pruebas, identificándose las cuatro hipótesis señaladas anteriormente:

Hip.C₁ “*los enzimas frenan la reacción*”, formulada por Carla (t.76 y t.77). La hipótesis, así planteada, es contraria a la función de los enzimas; queda abandonada y no realizan ningún diseño experimental para demostrar si es o no correcta. La calificamos como una hipótesis no pertinente.

Hip.C₂ “*los enzimas se desnaturalizaron*”, formulada por Celia (t.310 y t.312). Para esta hipótesis es abandonada y por ello no diseñan ningún experimento para contrastarla, no obstante es una hipótesis pertinente y además coincide con una hipótesis del referencial.

Hip.C₃ “*el hígado reacciona más rápido porque es más catalizador, la patata reacciona más lento porque es menos catalizador*”, formulada por Carla (t.338 y t.340). Esta hipótesis no es coherente con el problema, no es pertinente, sin embargo, realizan un experimento para demostrarlo (Exp.C₃).

Hip.C₄ “*el sustrato se convierte en producto, el enzima se recupera*”, formulada por Carla (t.493) *La reacción pasó de enzima sustrato y paró por que acabó en enzima más producto*, para las reacciones ocurridas en la Act.1. Esta hipótesis es pertinente con el problema y, además, realizan un experimento para comprobarla (Exp.C₄).

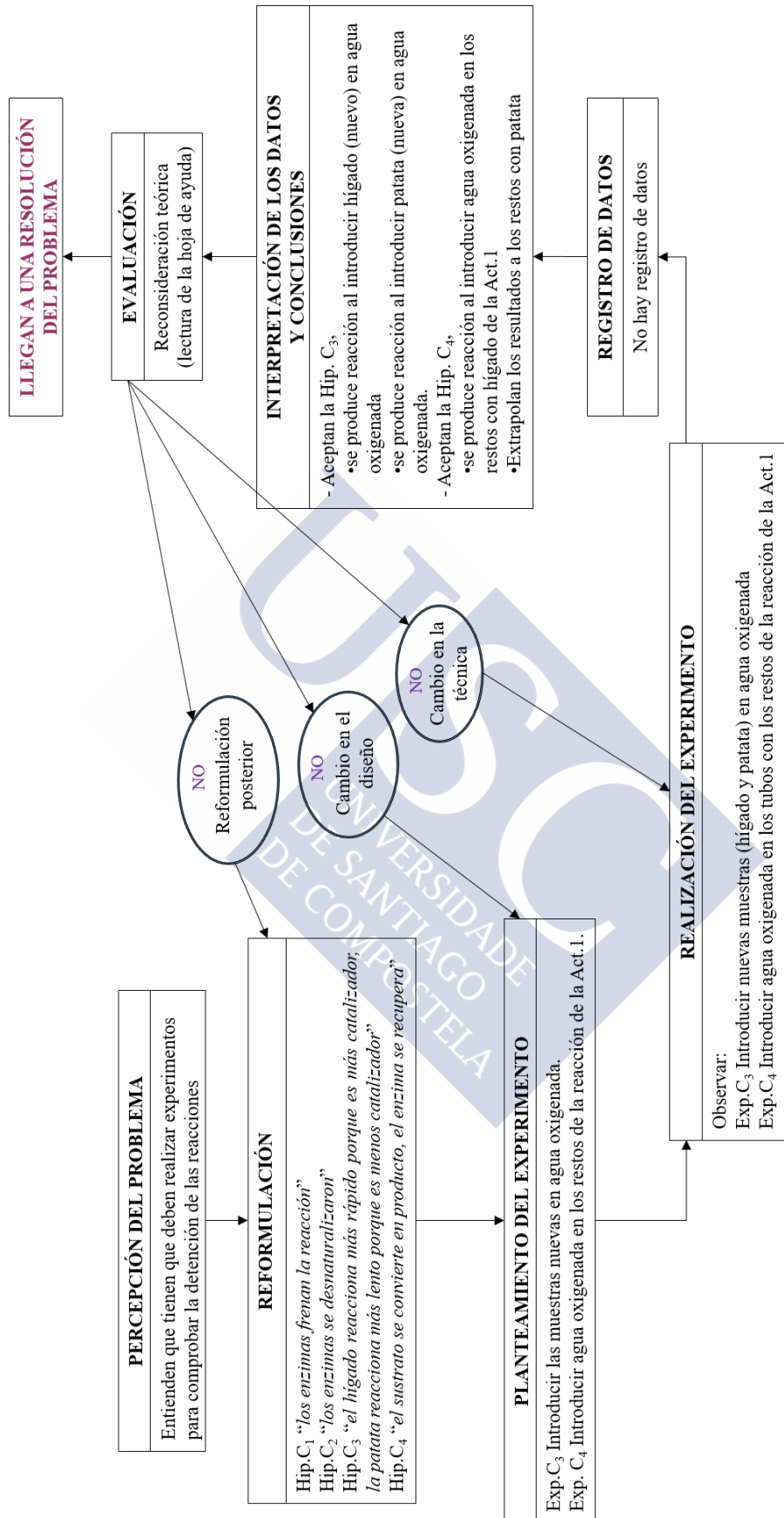


Figura 5.30: Representación del proceso de indagación para la resolución del problema interpretado a partir de las etapas de investigación del proyecto APU (1984)

Para comprobar la Hip.C₃ deciden utilizar la misma experiencia de la Act.1, con el fin de comprobar si se producen los mismos resultados, por lo que no utilizan un diseño elaborado realmente por ellas. A este experimento, propuesto por Carla (Carla, t.396) *Si, reaccionó más rápido (hígado) y lo experimentamos volviendo a hacer lo mismo que la otra vez, lo denominamos,*

Exp.C₃ “Introducir las muestras nuevas en agua oxigenada”

Identifican y controlan las dos variables independientes implicadas en este experimento “cantidad de agua oxigenada” y “cantidad de muestra con enzima”, que influyen en la velocidad de la reacción, seguidamente, preparan el material que van a utilizar en el Exp.C₃. En dos tubos de ensayo introducen una cantidad semejante de agua oxigenada, además consideran que debe ser la misma cantidad que en la Act.1, es decir, 2ml como se pedía en dicha actividad. Cuando tienen el agua oxigenada en un tubo, introducen una porción de patata y observan lo que ocurre, considerando que se produce reacción, como indican (Carla, t.453) *A ver, mira, mirar, ¿no veis?[...] lo que yo decía y (Carla, t.455) Ah, eh, ah[...] mira, se ve claramente, es esto.* El procedimiento del Exp.C₃ se representa en la figura 5.31.

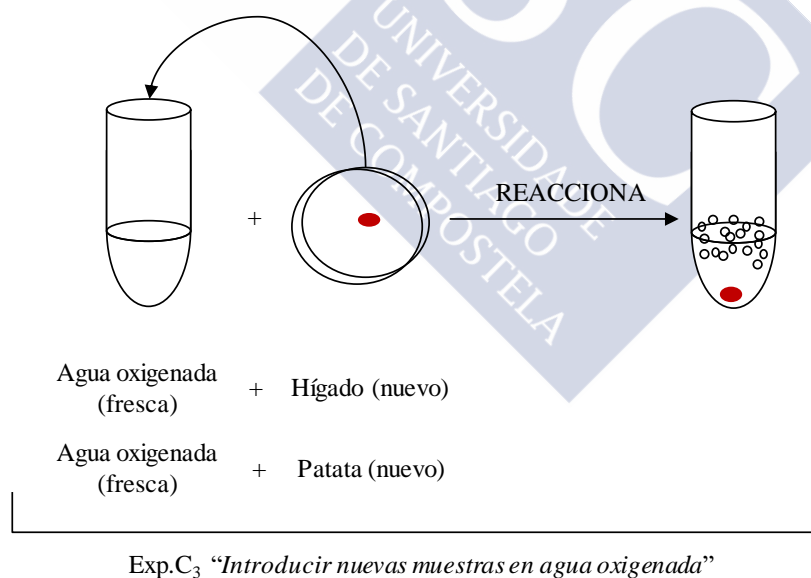


Figura 5.31: Procedimiento del experimento realizado por el grupo C para demostrar su Hip.C₃ “*el hígado reacciona más rápido porque es más catalizador, la patata reacciona más lento porque es menos catalizador*”.

No obstante, sí consideramos que diseñan un experimento para comprobar su hipótesis Hip.C₄

“el sustrato se convierte en producto, el enzima se recupera”, sobre la transformación de sustrato en producto y la recuperación del enzima. Celia es quien propone añadir agua oxigenada a los restos de la Act.1 para comprobar si se produce reacción de nuevo (Celia, t.495) *Mira, si se echa [...] si se echara más mierdecilla de agua aquí [...]* (Celia, t.497) *¿Habría otra reacción?* En este experimento controlan la variable “cantidad de sustrato”, y lo denominamos,

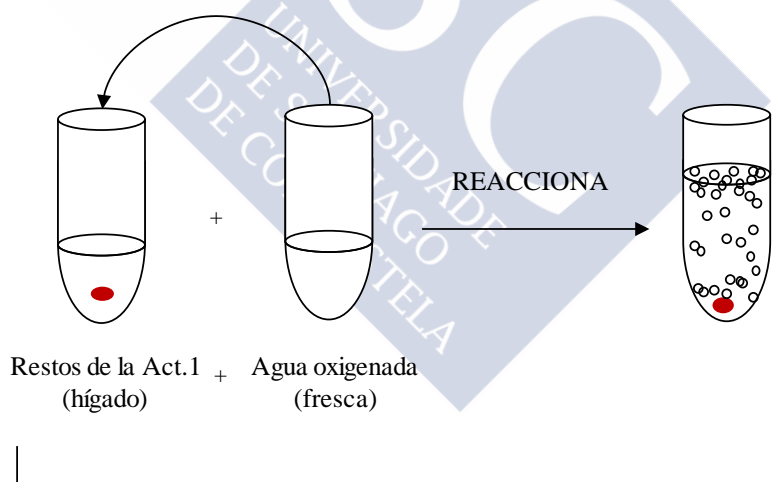
Exp.C4 “Introducir agua oxigenada en los restos de la reacción de la Act.1”

Sin embargo, para realizar el Exp.C4 no prepararon ningún material, simplemente Carla vacía el agua oxigenada, que quedaba en la probeta, en el tubo de ensayo que contiene los restos de la reacción de la Act.1 con la muestra de hígado. Observando que se produce reacción, concluyen que si se añade más sustrato se reactiva la reacción (Carla, t.508). El procedimiento de este experimento lo representamos en la figura 5.32.

t.506 Carla: *¿Está burbujeando?*

t.507 Celia: *Sí.*

t.508 Carla: *¡Vale! Se echamos más sustrato vuelve reaccionar.*



Exp. C4 “Introducir agua oxigenada en los restos de la reacción de la Act.1”

Figura 5.32: Procedimiento del experimento realizado por el grupo C para demostrar su Hip.C4 “*el sustrato se convierte en producto, el enzima se recupera*”.

Al observar que se produce reacción tras el Exp.C4, comparan las velocidades de reacción que se producen en el Exp.C3 (hígado) y en el Exp.C4 (hígado), Celia indica que la intensidad de la reacción es mayor en el Exp.C4. En la grabación de vídeo se ve como señala el tubo que

tiene en la mano llamándolo ‘hígado viejo’ (Celia, t.527), utilizado en el Exp.C₄ y señala el tubo que tiene en la mano Clara, utilizado en el Exp.C₃, llamándolo ‘hígado normal’ (Celia, t.529).

t.517 Celia: *Hay más aquí*

t.520 Celia: *Pero, mira[...] la reacción[...]*

t.522 Celia: *[...] la reacción es más grande[...]*

t.527 Celia: *Hígado viejo[...]*

t.529 Celia: *[...]hígado normal.*

Los datos (observaciones) que obtienen de los resultados de sus experimentos, no son registrados ni en gráficas ni en tablas, simplemente los incluyen en el informe escrito. Interpretando estos datos, Carla comienza a dictarle a Carme los resultados del Exp.C₄ (Carla, t.540) *Botamos máis auga no fígado anterior[...]*, pero ésta indica que están escribiendo el informe de la patata (Carme, t.541) *Pero esto es la patata, ¡eh!* En este momento, Clara se da cuenta de que este experimento no lo realizaron con los restos de la patata (Clara, t.544) *Pero, es que en la patata no lo comprobamos.* Sin embargo, al no tener agua oxigenada para realizarlo (Celia, t.550) *Ya, pero es que no nos queda agua oxigenada[...]*, Carla generaliza el resultado del Exp.C₄ con el hígado, a los posibles resultados de la reacción con los restos de la Act.1 (patata) y así lo indica (Carla, t.553) *Pero qué más da, va a pasar lo mismo. Son los dos enzimas catalizadores*, de esta forma concluyen que si añaden más ‘agua’ a los restos de la Act.1 (patata) seguirá reaccionando.

t.554 Carme: *Se botamos máis auga na patata anterior, seguirá [Exp.C₄] reaccionando.*

Esto les lleva a aceptar la Hip.C₄ “*el sustrato se convierte en producto, el enzima se recupera*” para las dos muestras y, así, Carme le dicta a Clara para que escriba en el informe del hígado (Act.2) lo mismo que escribió ella en el informe de la patata (Act.3) “*A reacción parou porque pasou de complexo encima a substrato a enzima máis produto, que é o líquido de cor máis oscura. Ao botar máis auga osixenada no hígado anterior a reacción é máis rápida*” (informe Act.2, 2º y 3º párrafos).

A raíz de una pregunta de la investigadora (Investigadora, t.650) *Contras-tastes a vosa hipótese?*, sobre si contrastaron sus hipótesis y si escribieron en el informe todo lo que habían realizado durante la actividad (Investigadora, t.656) *Escribíchedes?* y (Investigadora, t.658)

Todo? Todo o que pasou e todo o que fixestes., interpretamos que se plantean la evaluación de sus resultados. Por lo que deciden escribir en el informe el método que realizaron para demostrar su hipótesis. Al escribir esto, llegan a la conclusión de que al realizar el experimento los enzimas vuelven a reaccionar, que lo único que hay que hacer es añadirle más reactivo, como observamos en las siguientes intervenciones:

t.696 Celia: *No, simplemente que [...]*

t.697 Carla: *Vuelve a reaccionar.*

t.698 Celia: *[...] que los enzimas vuelven a reaccionar[...]*

t.700 Celia: *[...] lo que hay que[...]* cambiar es el *[...] agua oxigenada[...]* o sea, *tiene que añadir[...]*

t.701 Carme: *E comprobamos [...]*

t.702 Celia: *[...] más reactivo.*

t.703 Carme: *[...] que [...] que volvieron a reacción.*

t.704 Clara: *Observamos como reacciona de novo[...]* o *figado.*

Celia (t.706) apoyando su conclusión con pruebas teóricas (de la hoja de ayuda) concluye que los enzimas se recuperan y lo que hay que hacer es añadir más reactivo, aceptando la Hip.C4 “*el sustrato se convierte en producto, el enzima se recupera*”.

t.706 Celia: *Según esto[...] es lo que pone aquí[...] que los enzimas se recuperan [...] o sea, no se pierden, que lo único que tienes que hacer es[...] poner otro reactivo. (...)*

[Conclusión de
2º nivel]

Por lo que consideramos que llegan a la resolución del problema planteado.

Cuando analizamos la calidad de la indagación realizada por este grupo, observamos que realizan dos experimentos para contrastar dos de las cuatro hipótesis formuladas, Hip.C₃ e Hip.C₄. Consideramos que el proceso de indagación relacionado con Hip.C₃ “*el hígado reacciona más rápido porque es más catalizador, la patata reacciona más lento porque es menos catalizador*”, es de calidad baja porque, en primer lugar repiten la misma experiencia que en la Act.1 y en segundo lugar, la hipótesis no es pertinente. Sin embargo, el proceso de indagación relacionado con la Hip.C₄ “*el sustrato se convierte en producto, el enzima se recupera*” es de calidad alta porque formulan una hipótesis pertinente y plantean un experimento coherente con la hipótesis, sin embargo, realizan un experimento diferente al referencial que les permite llegar a una resolución del problema.

5.3.3. El proceso de modelización

Finalmente, se emplea el esquema de Justi y Gilbert (2002) para analizar el proceso de modelización de la interacción enzima-sustrato llevado a cabo por este grupo (figura 5.33).

Consideramos que conciben el objetivo de la tarea, que consiste en entender que deben elaborar un modelo que les permita explicar las causas por las que se detienen las reacciones enzimáticas, como expone Celia en sus intervenciones (Celia, t.14) *Ya, pero hay que hacer un diseño experimental para comprobar se é correcta a vosa hipótese[...]* (Celia, t.22) *No será porque se acabó la, el enzima y ya no hay reacción.*

La experiencia previa que tienen con la actividad enzimática parte de la realización de la Act.1 “Acción catalítica de los enzimas”, en la que observaron que se produce reacción al introducir muestras que contienen enzima catalasa en tubos con agua oxigenada, y que las velocidades de reacción son diferentes. Los aspectos de la realidad seleccionados, para describir el objeto a modelar, son 1) la observación de las reacciones, 2) que se detienen después de un tiempo, y 3) la interpretación de los datos aportados en la hoja de ayuda referentes a la actuación de los enzimas y sus propiedades (datos teóricos).

Interpretamos que las integrantes del grupo elaboran *modelos mentales*, cuando los explicitan verbalmente, transformándolos en *modelos expresados*, como el modelo que expresa Carla (t.273) *Antes había enzima sustrato [...]* (Carla, t.275) *[...] después hubo una [...] un complejo enzima-sustrato y después quedó el enzima que es la [...] cosa que hay abajo y el sustrato es el producto que es el liquidito ese que está por aquí.* Además, con algunas de sus conclusiones de 1^{er} nivel nos demuestran que intentan determinar las causas por las que se detienen las reacciones (Carla, t.493) *La reacción pasó de enzima sustrato y paró por que acabó en enzima más producto.* Cuando llegan a un acuerdo sobre el modelo consideramos que elaboran un *modelo consensuado*. A partir de los argumentos interpretamos dichos modelos.

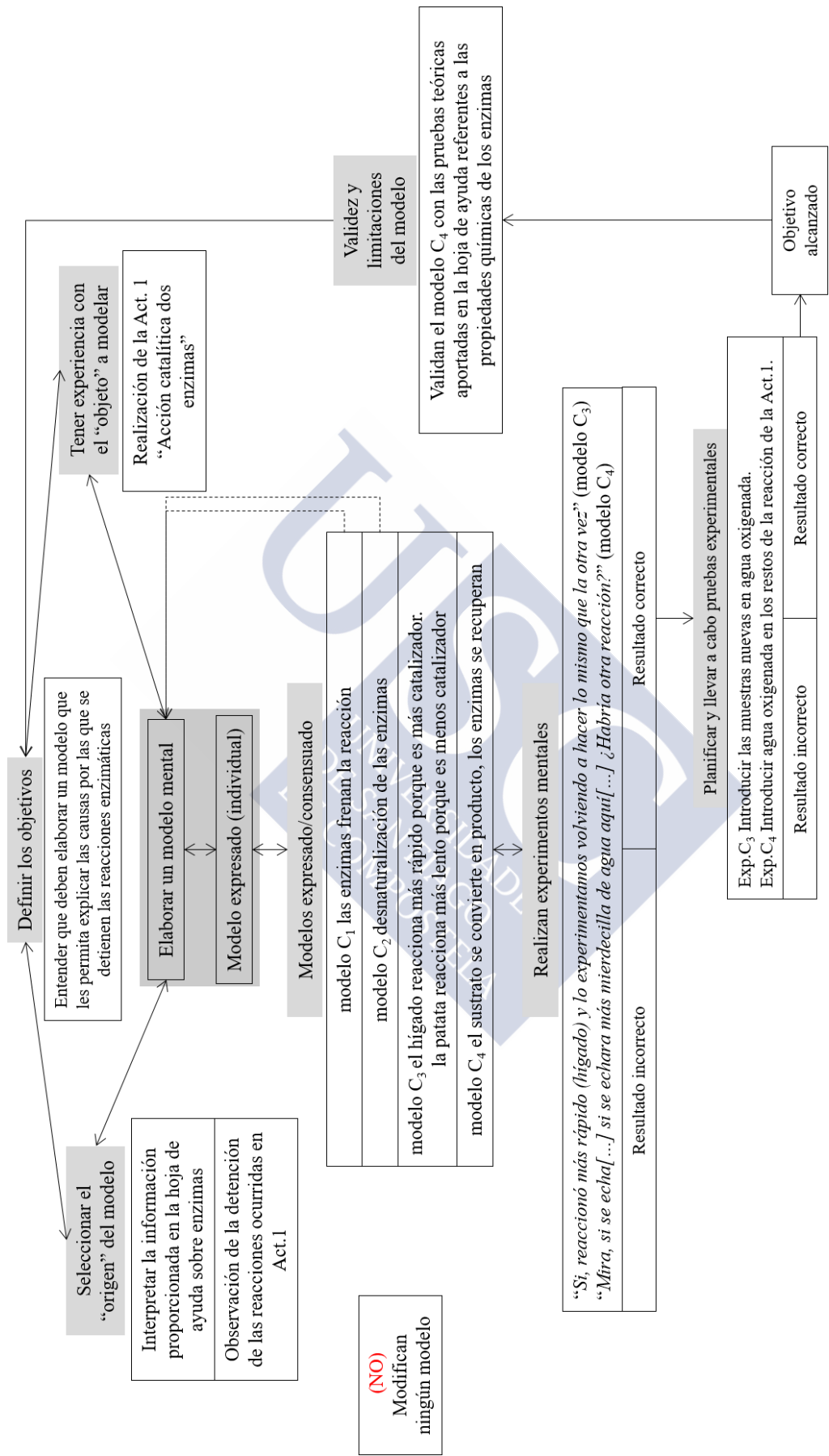


Figura 5.33: Proceso de modelización del grupo C mientras realizan la actividad. Con las líneas punteadas remarcamos el componente cíclico del proceso, ya que entendemos que los modelos C₁ y C₂ son utilizados para la elaboración de los modelos C₃ y C₄.

Para justificar su primer modelo se fundamentan en la observación empírica de que las reacciones ocurridas en la Act.1 están detenidas y en los datos teóricos: a) los enzimas son catalizadores que detienen la reacción y b) los enzimas rebajan la energía de activación de la reacción. Analizando las siguientes intervenciones identificamos el modelo expresado por Carla, con el que expone que el motivo de que las reacciones vayan más lentas es la cantidad de enzima implicado en la reacción, a mayor cantidad de enzima la velocidad es más lenta,

t.52 Carla: *No, parece ser que cuando una[...] algo está reaccionando, [...]que las enzimas son catalizadores que paran la reacción.[...] ¡Claro! ¿Por qué para la reacción? Porque[...]*

t.54 Carla: *[...] las enzimas son catalizadores [...] y eso es un enzima, y paró la reacción.*

t.76 Carla: *Los que iban más lentos [...]*

t.78 Carla: *[...]es que son más enzimas[...] por que frenan[...]*

Con estas intervenciones Carla expresa un argumento (figura 5.25) del que se infiere el modelo expresado denominado modelo C₁ “*los enzimas frenan la reacción*”. Carla está convencida de que las enzimas paran la reacción. Consideramos que es un modelo inadecuado, ya que expresa lo contrario de lo que realmente sucede en las reacciones catalizadas por los enzimas.

Debido a que el grupo reafirma el modelo, lo consideramos como modelo consensuado. Sin embargo, no realizan experimentos mentales, ni llevan a cabo pruebas experimentales para demostrar si con este modelo pueden explicar las causas por las que se detienen las reacciones.

t.56 Clara: *Yo pienso lo mismo.*

t.76 Carla: *Los que iban más lentos [...]*

t.78 Carla: *[...] es que son más enzimas [...] porque frenan [...]*

Su segundo modelo, que denominamos modelo C₂: “*los enzimas se desnaturalizaron*”, parte de a) la observación de que las reacciones están detenidas (dato empírico) y b) factores que afectan a los enzimas (dato de la tarea), lo interpretamos a partir del argumento representado en la figura 5.26, en el que Celia explica que la causa de la detención de las reacciones es la desnaturalización de los enzimas. Consideramos que es un modelo bastante adecuado en comparación con el modelo escolar, con el que justifica que las reacciones del agua oxigenada con el hígado y del agua oxigenada con la patata dejaran de reaccionar porque los enzimas se desnaturalizaron.

t.310 Celia: *Una cosa, si uno de los factores que afectan a las enzimas es la concentración de sustrato [...] y si se desnaturalizan no funcionan, significa que las enzimas, estas del hígado se desnaturalizaron [...]*

t.312 Celia: *[...] después de la reacción [...] y que por eso ya no sigue habiendo reacción.*

Incluso Celia lo refuerza con una analogía, a partir de la cual observamos que utiliza una idea alternativa sobre el concepto de desnaturalización pues, como se ha comentado previamente, confunde la desnaturalización de los enzimas con el concepto de agotamiento.

t.313 Celia: *Se agotaron ya no tienen pilas, no dan para más.*

Sin embargo, para este modelo tampoco realizaron experimentos mentales, ni llevaron a cabo pruebas experimentales para comprobar si este segundo modelo explicaba la causa de la detención de las reacciones.

Observamos que no comprueban la validez de sus dos primeros modelos, por lo que con ellos no consiguen dar respuesta al problema. Consideran otras alternativas, así, elaboran un tercer modelo, interpretado a partir del argumento representado en la figura 5.27. Este modelo está fundamentado en a) la comparación de las gráficas en las que se representa la energía necesaria para la activación de la reacción en una reacción catalizada y otra no catalizada (dato de la tarea), y b) la comparación de la diferencia de velocidad de las reacciones en la Act.1 (dato empírico). Con este tercer modelo, denominado modelo C₃ “*el hígado reacciona más rápido porque es más catalizador, la patata reacciona más lento porque es menos catalizador*”, explican que la diferencia de velocidad en las reacciones del agua oxigenada con el hígado y del agua oxigenada con la patata es debida a que el hígado es más catalizador que la patata (el hígado burbujea antes) y por eso la velocidad de reacción es mayor. Para este modelo realizan experimentos mentales, que luego ejecutan para lo que planifican y llevan a cabo su prueba experimental, Exp.C₃ “*Introducir las muestras nuevas en agua oxigenada*”. Este experimento consiste en realizar la misma experiencia que en la Act.1. Los resultados que obtienen, la observación de que se produce reacción al añadir las muestras (hígado y patata) en sendos tubos con agua oxigenada, les llevan a aceptar el modelo C₃. En ningún momento consideran que este modelo no permite determinar las causas por las que se detienen las reacciones, que simplemente permite demostrar que las velocidades de reacción son diferentes cuando el enzima está incluido en una muestra vegetal (patata) o en una muestra animal (hígado).

El último modelo que se infiere de su discurso es el modelo C₄ “*el sustrato se convierte en producto, los enzimas se recuperan*”, interpretado a partir del argumento representado en la figura 5.28, se fundamenta en a) el sustrato es el agua oxigenada y el enzima es el hígado, b) la interpretación que hace Carla de la representación de los componentes del modelo escolar y su comparación con los productos de la Act.1, en la que expone que el sustrato se transforma en producto, pero considera que el enzima es la muestra total (datos teóricos) y, c) propiedades de los enzimas (dato de la tarea), aportada por Celia (Celia, t.448) *Mira, los enzimas no son alterados químicamente por la reacción, [...] (Celia, t.450.1) [...] o sea que se recuperan al final*. Asimismo, este modelo C₄ se fundamenta en a) la observación de las burbujas que se desprenden en la reacción y b) los resultados obtenidos después de realizar el Exp.C₄ “*Introducir agua oxigenada en los productos de la reacción de la Act.1*”, al observar que se produce reacción cuando se añade sustrato a los restos de la Act.1 (hígado) (datos empíricos). Por tanto, consideramos que con este modelo justifican su conclusión de que el sustrato se convierte en producto y que los enzimas se recuperan, cuando comprueban al realizar el Exp.C₄ que se produce reacción al añadir agua oxigenada (fresca) en los productos de la Act.1 (hígado), como exponen Carla y Celia en sus intervenciones:

t.508 Carla: *¡Vale! Se echamos más sustrato vuelve reaccionar*

t.696 Celia: *No, simplemente que [...]*

t.698 Celia: *[...] que los enzimas vuelven a reaccionar[...]*

t.700 Celia: *[...] lo que hay que[...] cambiar es el [...]agua oxigenada[...] o sea, tienes que añadir[...]*

t.702 Celia: *[...] más reactivo.*

Consideramos que la interpretación que hace Carla de la representación del modelo escolar y su comparación con los productos de la Act.1, (Carla, t.273) *Antes había enzima sustrato [...]* (Carla, t.275) *[...] después hubo una [...] un complejo enzima-sustrato y después quedó el enzima que es la [...] cosa que hay abajo y el sustrato es el producto que es el liquidito ese que está por aquí*, es un modelo expresado por esta integrante del grupo, pero no llega a ser un modelo consensuado, ya que no es aceptado por el grupo. Representamos este modelo expresado por Carla en la figura 5.34, como ejemplo de modelo que incluye todos los elementos del modelo escolar, la comparación de éste con los componentes del modelo expresado se representa mediante flechas de doble sentido.

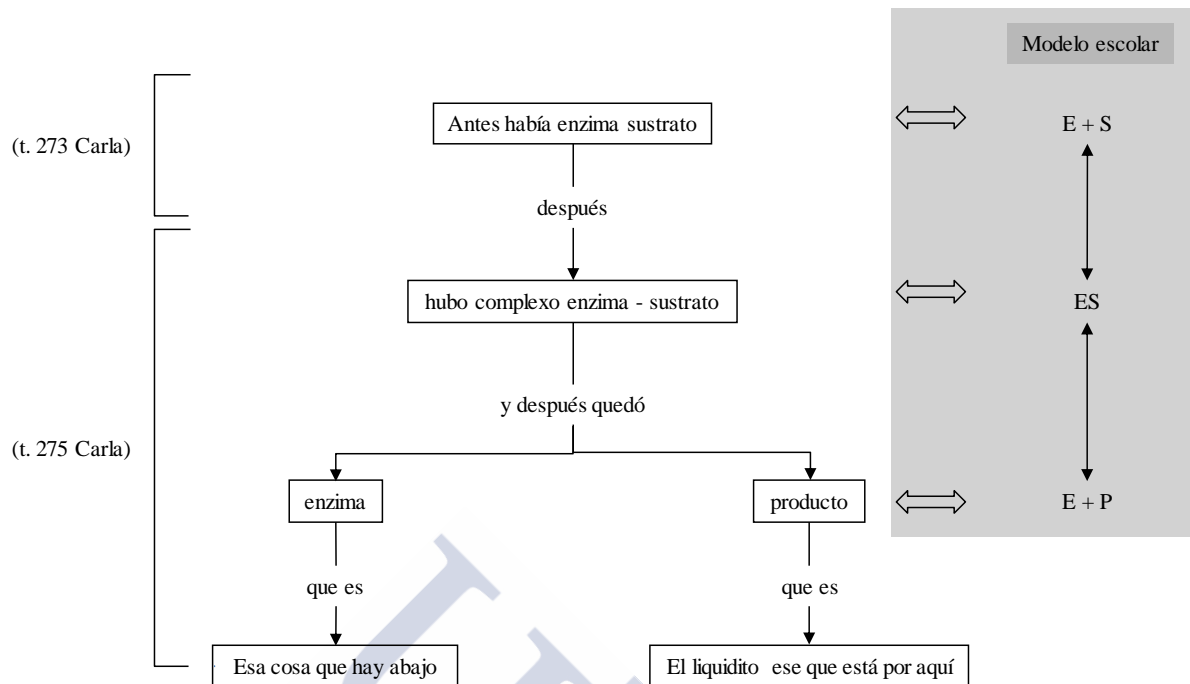


Figura 5.34: Representación del modelo expresado por Carla indicando que el sustrato se transforma en producto, su comparación con el modelo escolar.

Sin embargo, en el modelo consensuado, modelo C4 “*el sustrato se convierte en producto, los enzimas se recuperan*”, observamos que no incluyen el complejo enzima-sustrato en su elaboración. Lo representamos en la figura 5.35, haciendo una comparación con el modelo escolar, indicando la correspondencia de los componentes utilizados con flechas de doble sentido.

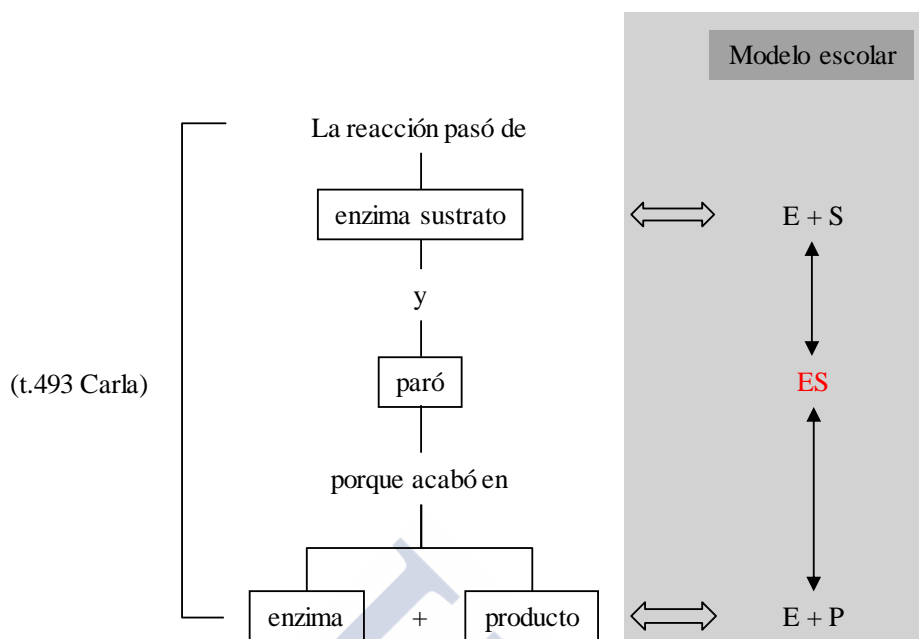


Figura 5.35: Representación del modelo C₄ “*el sustrato se convierte en producto, los enzimas se recuperan*” y su comparación con el modelo escolar. El color rojo indica los elementos que no tienen correspondencia entre el modelo escolar con el modelo del grupo.

Así, identificamos el modelo expresado por Carla (t.273 y t.275) y cuatro modelos consensuados por este grupo:

modelo C₁ “*los enzimas frenan la reacción*”

modelo C₂ “*los enzimas se desnaturalizaron*”

modelo C₃ “*el hígado reacciona más rápido porque es más catalizador, la patata reacciona más lento porque es menos catalizador*”

modelo C₄ “*el sustrato se convierte en producto, los enzimas se recuperan*”

Interpretamos que comprueban la validez y las limitaciones de su modelo C₄ “*el sustrato se convierte en producto, los enzimas se recuperan*” cuando intentan completar lo que escribieron en sus informes, a partir del momento en el que la investigadora las sorprende leyendo el informe de otro grupo y les llama la atención. Recurren a las propiedades de los enzimas, como pruebas teóricas para apoyar sus conclusiones, como indica Celia (Celia, t.706) *Según esto[...]* es lo que pone aquí[...] *que los enzimas se recuperan [...]* o sea, no se pierden, que lo único que tienes que hacer es[...] *poner otro reactivo.* De esta forma alcanzan los objetivos de la actividad, puesto que el modelo C₄ “*el sustrato se convierte en producto, los enzimas se*

recuperan” les permiten explicar la detención de las reacciones, llegando a la conclusión de que las reacciones se detienen porque el sustrato se convierte en producto y que los enzimas se recuperan al finalizar la reacción.

En su informe escrito incluyen dos modelos: modelo C₃ y el modelo C₄. Lo que escriben en el informe con relación al modelo C₃, “*Reaccionou máis rápido porque é máis catalizador*” (hígado) (informe Act.2, 1^{er} párrafo) y “*Reaccionou máis lento porque é menos catalizador*” (patata) (informe Act.3, 1^{er} párrafo), consideramos que no es apropiado al enunciado del problema, ya que está enfocado a la velocidad de las reacciones. En cuanto al modelo C₄, que consideramos bastante apropiado en comparación con el modelo escolar, con el que explican, como ya mencionamos anteriormente, el motivo por el cual se detienen las reacciones. Así lo indican, “*A reacción parou porque pasou de complexo encimasustrato a enzima + produto, que é o líquido con cor estraña. Se botamos máis agua osixenada na pataca anterior seguirá reaccionando*” (informe Act.3, 2^o y 3^{er} párrafos). En la figura 5.36 se representa el modelo C₄ “*el sustrato se convierte en producto, los enzimas se recuperan*”, consensuado por el grupo para la Act.3, y su comparación con el modelo escolar, indicamos con flechas de doble sentido las correspondencias de los elementos de ambos, apareciendo en rojo los elementos del modelo escolar que no usan en la elaboración de su modelo. En su modelo están representados los enzimas, el complejo enzima-sustrato y los productos, pero en su explicación escrita se olvidan de los reactivos implicados en la reacción, ya que comienzan su modelo a partir del paso en el que el sustrato está unido al enzima formando el complejo enzima-sustrato, a pesar de que en el modelo expresado por Carla (figura 5.34) aparecen todos los componentes del modelo escolar, sin embargo, cuando explican el modelo C₄ “*el sustrato se convierte en producto, los enzimas se recuperan*” no incluyen el complejo enzima-sustrato (figura 5.35).

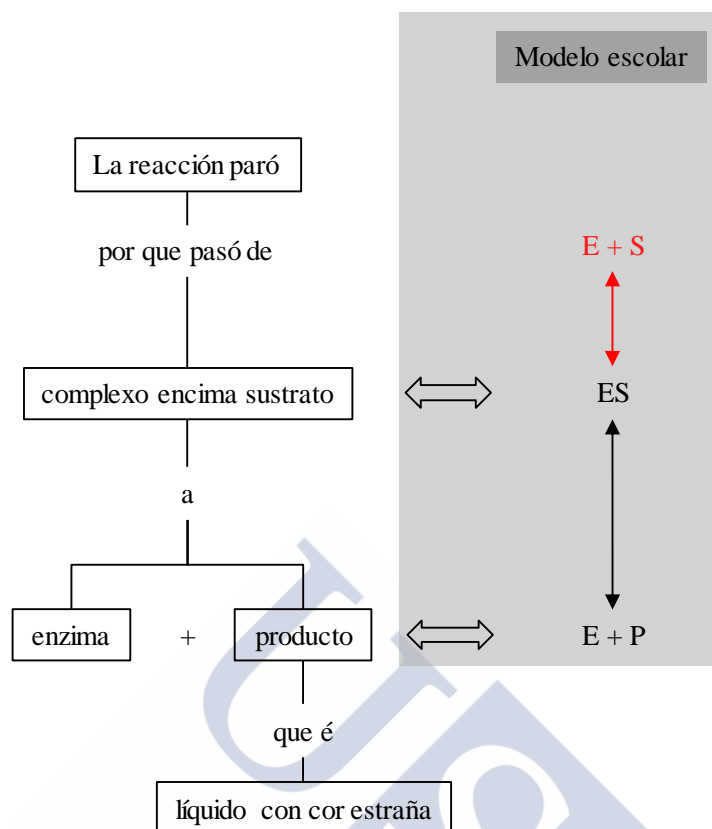


Figura 5.36: Representación del modelo incluido en el informe de la Act.3 “*Por que parou a reacción coa pataca?*”, modelo C₄ “*el sustrato se convierte en producto, los enzimas se recuperan*”, y su comparación con el modelo escolar. El color rojo indica los elementos que no tienen correspondencia entre el modelo escolar con el modelo del grupo.

Considerando los modelos elaborados por este grupo, no se aprecia progreso en el uso del modelo lo cual se debe a que no han evaluado los modelos elaborados, en concreto los modelos C₁ y C₂, lo que conlleva a que no incrementen la complejidad de los mismos ni valoren su adecuación al problema propuesto. De los modelos expresados/consensuados el que más se asemeja al modelo referencial es el expuesto por Carla, pero pese a la intervención de esta alumna, los modelos finales que dejaron registrados en los informes escritos, tienen ciertas carencias con el modelo referencial, como es el estado de transición enzima-sustrato.

5.3.4. Discusión y conclusiones parciales del grupo C

Las respuestas a las preguntas de investigación de los resultados del análisis del grupo C son las siguientes.

1ª pregunta de investigación: *¿Cuál es la calidad de los argumentos que emplean los estudiantes en la resolución del problema?*

Reconstruimos cuatro argumentos, trascendentes para la resolución del problema, a partir del discurso natural de estas alumnas mientras realizan la tarea.

En el primer argumento, exponen como causa por la que se detienen las reacciones el hecho de que los enzimas frenan la reacción. Relacionan los datos con su conclusión apoyándose en pruebas teóricas: 1) la función de los enzimas consiste en ser catalizador que, detienen la reacción, podemos considerar que la prueba podría ser apropiada porque está encaminada a la justificación del por qué se detienen las reacciones, sin embargo, es una idea alternativa sobre el funcionamiento de los enzimas, y 2) los enzimas rebajan la energía de la reacción, acelerándola, consideramos que esta prueba no es apropiada, porque no se relaciona con la detención de las reacciones.

Cuando reconstruimos su segundo argumento, observamos que las pruebas que utilizan para apoyar su conclusión son apropiadas, pues la justificación contempla una prueba teórica coherente con la bioquímica de los enzimas, es decir, atribuyen la causa de la detención de las reacciones a que los enzimas si se desnaturalizan no funcionan.

En su tercer argumento, las pruebas que aportan, para relacionar los datos, *la reacción se detiene, no hay burbujas*, con su conclusión, *el hígado reacciona más rápido porque es más catalizador y la patata reacciona más lento porque es menos catalizador*, no son apropiadas. Estas pruebas son 1) la observación de la diferencia en las velocidades de reacción (hígado y patata), 2) el tiempo de duración de la reacción, ambas pruebas empíricas, 3) la función del catalizador es acelerar y rebajar la energía de activación y, 4) la interpretación de las gráficas de las reacciones catalizadas y no catalizadas, ambas pruebas teóricas. Con estas justificaciones no relacionan de forma pertinente los datos con la conclusión porque no permiten explicar las causas por las que se detienen las reacciones, simplemente explican la diferencia en la velocidad de reacción, de ahí que consideremos estas pruebas como no apropiadas.

En su último argumento, las pruebas con las que justifican su conclusión son de dos tipos, empíricas, la observación de las burbujas cuando se produce la reacción, y pruebas teóricas, 1) el sustrato es el agua oxigenada y el enzima es el hígado, 2) el modelo expresado de Carla, y 3) los enzimas se recuperan, no tienen cambio químico. Con estas pruebas relacionan los datos, *la reacción se detiene, no hay burbujas*, con la conclusión, *la reacción pasó de enzima sustrato y paró por que acabó en enzima más producto*, consideramos que son apropiadas, porque relacionan de forma adecuada los datos con la conclusión y, además, permiten determinar las causas por las que se detienen las reacciones.

Al evaluar la calidad de los argumentos, observamos que el primer y tercer argumento son de calidad baja, y el segundo y cuarto son de calidad media. En resumen, al comienzo de la actividad no son capaces de relacionar los datos con las conclusiones, pero terminan haciéndolo de forma apropiada a partir de justificaciones coherentes, apoyadas por diferentes tipos de pruebas. En segundo lugar, en momentos de incertidumbre utilizan calificadores modales. En tercer lugar, no contraargumentan frente a la propuesta de otro estudiante ni refutan las conclusiones de sus compañeras. Esto último, pone de manifiesto la escasa calidad de argumentación de este grupo, si la valoramos en los términos del empleo de contraargumentos y refutaciones, siguiendo lo indicado por Osborne et. al (2001). Consideramos que, a pesar de no contraargumentar, ni refutar las conclusiones de otros integrantes del grupo, el proceso de la argumentación les permite modificar el conocimiento de la interacción enzima-sustrato, al intentar dar respuesta al problema, porque las justificaciones que aportan les llevan a resolver el mismo.

2ª pregunta de investigación: *¿En qué medida las líneas argumentativas les llevan a conclusiones acordes con el enunciado del problema?*

De las cuatro líneas argumentativas que sigue este grupo consideramos que la primera y la tercera no son acordes con el enunciado del problema y la segunda y la cuarta, consideramos que sí son acordes con el enunciado.

Cuando establecemos la primera línea argumentativa que sigue este grupo, observamos que únicamente la mantienen hasta la conclusión de 1^{er} nivel. Consideramos que podría ser acorde con el enunciado, sin embargo, la conclusión, *los que son más enzimas frenan la reacción*, es contraria a la función de los enzimas, por lo que no les llevaría a resolver el problema.

La segunda línea argumentativa es apoyada por pruebas apropiadas con la conclusión a la que llegan, conclusión de 1^{er} nivel, pero no realizan ningún tipo de prueba experimental para comprobar si su hipótesis, Hip.C₂ “*los enzimas se desnaturalizaron*”, permite demostrar que la desnaturalización de los enzimas es la causa por la que se detienen las reacciones. Por tanto, esta línea queda sin desarrollar, y por eso no llegan a una conclusión de 2º nivel, a pesar de ello, consideramos que el razonamiento sería adecuado con el enunciado del problema.

En la tercera línea argumentativa llegan a conclusiones de 1^{er} nivel. Realizan experimentos “mentales” que comprueban de forma experimental para llegar a la conclusión de 2º nivel acerca de que el hígado reacciona más rápido porque es más catalizador que la patata. Entendemos que es un razonamiento no adecuado para abordar el problema que deben resolver, porque con estas hipótesis demuestran la diferencia en las velocidades de reacción entre las dos muestras, pero no comprueban el motivo por el que se detienen las reacciones.

Sin embargo, la cuarta línea argumentativa les lleva a la conclusión de 2º nivel, *el sustrato se convierte en producto, el enzima se recupera*. En este caso, el razonamiento que siguen sí está encaminado a determinar las causas por las que se detienen las reacciones, usan pruebas adecuadas con las que justifican esta conclusión y realizan experimentos “mentales” que posteriormente ejecutan para demostrar si su conclusión es la correcta. Por lo que consideramos esta línea argumentativa adecuada con el enunciado del problema propuesto, al que dan respuesta empleándola.

3ª pregunta de investigación: *¿En qué medida las hipótesis que formulan son pertinentes para resolver el problema?*

De los datos implícitos en la Act.1, *la reacción se detiene, no hay burbujas*, y de las pruebas aportadas para llegar a sus conclusiones, formulan cuatro hipótesis. Consideramos que la primera hipótesis, Hip.C₁ “*los enzimas frenan la reacción*”, no es pertinente para resolver el problema, ya que consideran que los enzimas frenan la reacción. La segunda hipótesis que formulan, Hip.C₂ “*los enzimas se desnaturalizaron*”, valoramos que es pertinente para resolver el problema, pero es abandonada, por lo que no llegan a contrastarla. La tercera hipótesis, Hip.C₃ “*el hígado reacciona más rápido porque es más catalizador, la patata reacciona más lento porque es menos catalizador*”, estimamos que no es pertinente con el problema, porque se fijan en la velocidad de las reacciones sin responder a la detención de las mismas. Su última hipótesis, Hip.C₄ “*el sustrato se convierte en producto, el enzima se recupera*”, cuyo enfoque

de investigación va encaminado a determinar las posibles causas por las que se detienen las reacciones, la consideramos pertinente para resolver el problema.

4ª pregunta de investigación: *¿En qué medida los estudiantes son capaces de diseñar un experimento para contrastar sus hipótesis?*

Las alumnas del grupo C son capaces de diseñar experimentos para contrastar la Hip.C₃ y la Hip.C₄. Para contrastar la Hip.C₃, no diseñaron un experimento propiamente dicho (Exp.C₃ “Introducir las muestras nuevas en agua oxigenada”), ya que utilizaron la misma experiencia realizada en la Act.1, controlando las variables “cantidad de agua oxigenada” y “cantidad de muestra con enzima”, consideramos que este experimento es adecuado para contrastar la hipótesis, pero no es adecuado para resolver el problema planteado, ya que no les permite determinar las posibles causas por las que se detienen las reacciones. Sin embargo, para contrastar la Hip.C₄ diseñan un experimento en el que están implicados los productos obtenidos en la Act.1 (Exp.C₄ “Introducir agua oxigenada en los productos de la reacción de la Act.1”), controlando la variable “cantidad de sustrato”. En este experimento añaden agua oxigenada a los restos de la Act.1 (hígado) y observan que reacciona de nuevo, concluyendo que el enzima se recupera. Consideramos que implícitamente concluyen que el motivo de que se detengan las reacciones es que se acaba el sustrato, por lo que llegan a la resolución del problema. Sin embargo, este experimento es parcialmente adecuado, ya que se produce en hígado, pero no en patata, con la que no lo comprueban.

Dado que el primer experimento que emplean estas alumnas consiste en una repetición de lo indicado en la Act.1, consideramos que este proceso de indagación es de calidad baja, no obstante, ello mejora en el segundo experimento, en que sí realizan una planificación nueva para dar respuesta a una hipótesis pertinente, de modo que la calidad de este proceso de indagación es alto.

5ª pregunta de investigación: *¿Cómo construyen, evalúan y modifican sus modelos?*

En el primer modelo que construyen, modelo C₁ “los enzimas frenan la reacción”, consideran que la función de los enzimas es detener las reacciones, no lo evalúan ni lo modifican, tampoco lo tienen en cuenta como resolución del problema.

El segundo modelo que construyen, modelo C₂ “los enzimas se desnaturalizaron”, engloba la idea de que la detención de las reacciones se debe a la desnaturalización de los enzimas, sin

embargo, este modelo queda abandonado al no realizar experimentos “mentales” para comprobar si es correcto, por lo que queda abandonado.

El tercer modelo que elaboran, modelo C₃ “*el hígado reacciona más rápido porque es más catalizador, la patata reacciona más lento porque es menos catalizador*”, es comprobado mediante experimentos “mentales”.

Para el cuarto modelo que construyen, modelo C₄ “*el sustrato se convierte en producto, los enzimas se recuperan*”, también realizan experimentos “mentales” para comprobar si su modelo es correcto.

Después de llevar a cabo sus pruebas experimentales para contrastar sus hipótesis, observamos que aceptan dos de los modelos que usan: el modelo C₃ “*el hígado reacciona más rápido porque es más catalizador, la patata reacciona más lento porque es menos catalizador*”, para el que no consideraron la validez ni las limitaciones porque no realizaron ningún tipo de evaluación para validarlo y, el modelo C₄ “*el sustrato se convierte en producto, los enzimas se recuperan*”, que validan con la información aportada en la hoja de ayuda, referente a las propiedades químicas de los enzimas, considerando el objetivo del problema alcanzado.

Lo más destacable del proceso de modelización, llevado a cabo por el grupo C, es que no modificaron ni rechazaron ningún modelo, simplemente los abandonan al no realizar experimentos “mentales” para demostrar si con ellos pueden explicar las causas de la detención de las reacciones. Pese a que no se vea el tránsito gradual, hay una secuencia en las ideas.

6ª pregunta de investigación: *¿En qué medida los modelos elaborados por los estudiantes permiten explicar la detención de las reacciones enzimáticas?*

Observamos que al final de la actividad llegan a un modelo similar al modelo escolar, aunque sin considerar el estado transitorio enzima-sustrato. A pesar de tener poca experiencia con el objeto a modelar, ya que tuvieron el primer contacto con los enzimas en la primera parte de la tarea (Act.1), son capaces de llevar a cabo la investigación. Su primer modelo C₁ “*los enzimas frenan la reacción*” es opuesto al modelo escolar; para el segundo, modelo C₂ “*los enzimas se desnaturalizaron*”, no diseñaron ningún tipo de experimento para contrastarlo; con el tercero, modelo C₃ “*el hígado reacciona más rápido porque es más catalizador, la patata reacciona más lento porque es menos catalizador*”, que no permite explicar las causas de la detención

de las reacciones, realizan experimentos “mentales” para comprobar su adecuación. Por último, elaboran el modelo C₄ “*el sustrato se convierte en producto, los enzimas se recuperan*”, que permite explicar las causas de la detención de las reacciones, al observar que se produce reacción cuando realizan su Exp.C₄ al añadir agua oxigenada (fresca) en el tubo con los restos de la Act.1 (hígado), obteniendo un resultado correcto. Por lo que, con este experimento comprueban que quedan enzimas en el tubo, pero no sustrato y, además, consideramos que es adecuado al modelo escolar.

Por tanto, consideramos que usando el modelo C₄ son capaces de explicar la detención de las reacciones.



5.4. RESULTADOS DEL GRUPO D

El grupo D está formado por cuatro chicas a las que denominamos Delia, Diana, Dora y Dores. Es interesante que las integrantes de este grupo expresen su deseo de realizar mejor la tarea planteada que la que realizaron días anteriores (Act.1). Observamos que hay dos integrantes que participan más en el discurso, Dores y Diana. Delia interviene pocas veces y Dora debido a un enfado con Dores deja de participar en un momento de la actividad, parece ser por una disputa relacionada con el liderazgo, ya que es Dores la que realiza el experimento, aunque deja que le ayude Delia.

5.4.1. El proceso de argumentación

Analizando el proceso de argumentación a partir del discurso natural interpretamos dos argumentos relevantes para la resolución de la actividad. Estos argumentos los representamos con el TAP. Asimismo, establecemos las dos líneas argumentativas que siguen para llegar a sus conclusiones. Partiendo de los argumentos construidos inferimos dos líneas argumentativas.

Para construir su primer argumento, parten de los datos implícitos de la Act.1, *la reacción se detiene, no hay burbujas*, para llegar a la conclusión “*no hay enzimas libres*”, la que interpretamos como su primera hipótesis formulada Hip.D₁ “*no hay enzimas libres*”. Para justificar esta conclusión, van aportando diferentes pruebas (cuya relación se muestra en la figura 5.39) a medida que avanzan en la tarea, por lo que éstas las englobamos en tres conjuntos.

El primer conjunto de pruebas (figura 5.37, justificación 1), lo aportan en forma de argumento, sub-argumento del argumento principal, en el cual, partiendo de los mismos datos apelan a pruebas de tipo teórico con las que justifican que las burbujas que se liberan son el oxígeno y que se desprenden del hígado y de la patata, por lo que los enzimas no cambian.

t.52.2 Dora: [...] o sea, las burbujas que salen es el oxígeno.

t.54 Dores: El oxígeno que ti-ene el hígado.

t.56 Dores: O la patata.

t.79 Diana: [...] a las enzimas [...] siguen siendo [...] igual

Para respaldar la prueba aportada por Diana (t.79), apelan a lo que ellas suponen que les pasa a los enzimas en la reacción, a) a nivel químico (Dora, t.65.2) *Non son alteradas quimicamente pola reacción, é dicir, recupéranse por completo ao finalizar esta*, (Dores, t.74) *No sé, por lo que dice se regenera*. (Dores, t.81) (...) *no se pierde, bien*[...] (Dores, t.83) [...] *bien, las enzimas no tienen un cambio*[...] (Dores, t.85.1) [...] *químico* [...], b) la reacción no les afecta (Diana, t.77.2) *todo esto, a esto no le afecta*[...] o sea, *al* [...], y c) el oxígeno se desprende en la reacción (Diana, 77.2) *peroo*[...] *sí, el oxígeno sí que se va*.

t.82 Dora: [...] *es decir, las enzimas y el hígado tienen enzimas*[...]

Con estas pruebas justifican su conclusión de que la patata después de la reacción ‘siguen siendo igual, pero sin oxígeno’, esta conclusión la consideramos una prueba de 2º nivel de la 1ª línea argumentativa (figura 5.39). Consideramos que estas pruebas son apropiadas, ya que emplean el conocimiento científico para justificar la detención de las reacciones, excepto la aportada por Dores (t.54) en la que se aprecia la idea alternativa de que el oxígeno que se desprende proviene de las muestras de hígado y patata.

El segundo conjunto de pruebas (figura 5.37, justificación 2) aportadas para justificar la conclusión Hip.D₁ “*no hay enzimas libres*” son de tipo teórico con las que justifican que, si el enzima se une al sustrato y al agua, ya no hay enzimas libres y que si no hay enzimas unidas al sustrato se detiene la reacción. Estas pruebas son extraídas de la interpretación de las siguientes intervenciones:

t.112 Dora: *A ver, la enzima se* [...]

t.114 Dora: [...] *une con el sustrato* [...]

t.116 Dora: [...] *y con el agua* [...]

t.129. Dores: [...] *Si no hay [...] si no hay enzimas que estén libres y que no estén [...] ya juntadas con el sustrato* [...]

t.130. Dora: *Ya no se produce* [...]

t.132. Dora: [...] *ya no se produce nada*.

t.133. Dores: *No se produce nada*.

Aunque esta justificación pueda parecer correcta, estas alumnas no relacionan el sustrato con el agua oxigenada, sino que simplemente le denominan agua. Por tanto, consideramos que esta prueba no es apropiada por que contradice la conclusión, es decir, interpretan que se detiene

la reacción porque los enzimas están unidos al sustrato, sin embargo, en el caso de que el enzima esté saturado con el sustrato la velocidad es máxima.

El tercer conjunto de pruebas (figura 5.37, justificación 3) es de tipo teórico. Con estas pruebas justifican la detención de las reacciones debido a la unión del enzima con el sustrato provocando la saturación del enzima (Diana, t.291.2) *cuando hay mucha agua[...]* y (Diana, t.293.2) *es como que [...] hay [...] las, las enzimas están tan saturadas*. Consideran que la saturación impide que el oxígeno se desprenda, indicando que las moléculas ocupan más espacio y cierran el paso al oxígeno (Diana, t.293.3) *o sea, está todo tan concentrado [...] que no hay espacio libre para que salga (oxígeno)*. Además, exponen, indicando su grado de incertidumbre con un calificador modal (Dores, t.294) *A ver, supuestamente[...]* que el sustrato es el que provoca la formación del producto (oxígeno) que se libera del enzima (Dores, t.296.1) *[...] una patata, que tiene enzimas, y en esos enzimas hay oxígeno, una vez que tu lo metes en el, en el sustrato, el sustrato elimina eso de la reacción y crea un producto, donde las, en donde[...] las enzimas están más juntas, o se unen con moléculas*. Por tanto, consideramos que estas pruebas no son apropiadas, ya que si el enzima está saturado con el sustrato la velocidad es máxima y no se detiene como indican ellas.

La conclusión a la que llegan es que se detiene la reacción porque no hay enzimas libres (Hip.D₁).

t.122 Diana: *Y que pasa, que llega un momento que no hay enzimas*.

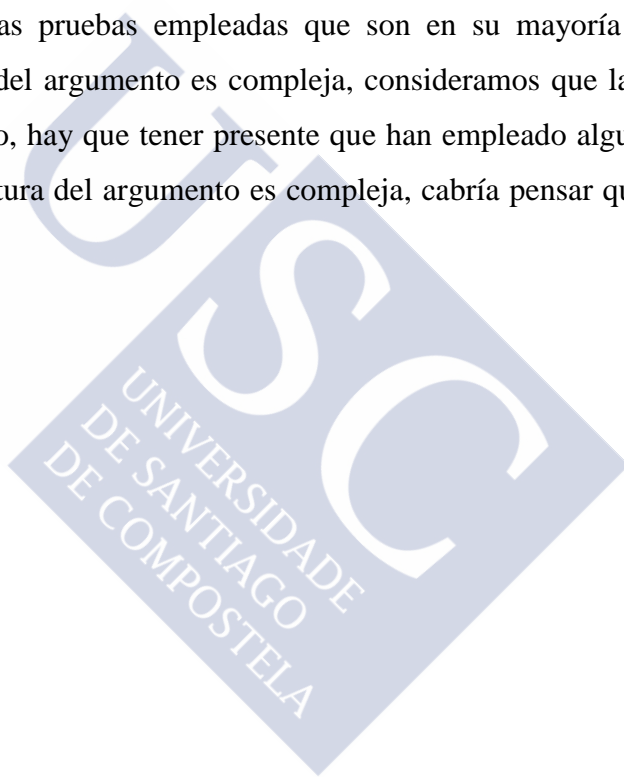
t.191 Dores: *Vamos a ver, hay un momento que la reacción se acaba porque las enzimas li-bres ya se han juntado con el sustrato* [Conclusión de 1^{er} nivel, Hip.D₁]

Parece que invocan una especie de inhibición por saturación irreversible del enzima: el producto no se libera, por tanto el enzima no queda libre y, en consecuencia, no puede volver a actuar.

Consideramos que estas pruebas no son de buena calidad científica, al no ser apropiadas desde el punto de vista del referente. Como indicamos anteriormente, si consideran que la reacción está en la fase en la que el enzima está unido al sustrato formando el complejo enzima-sustrato, la velocidad será máxima, el sustrato aún no se transformó en producto.

Representamos el primer argumento construido entre las integrantes del grupo D, en el que relacionan los datos implícitos de la Act.1, *la reacción se detiene, no hay burbujas*, con la conclusión, Hip.D₁ “*no hay enzimas libres*”, usando las pruebas teóricas ya comentadas y representadas en la figura 5.37. Cuando se analiza la complejidad estructural de este argumento, observamos que está compuesto por los tres componentes principales de un argumento y un calificador modal con el que exponen el grado de incertidumbre sobre su justificación 3. Asimismo, la justificación 1 es un argumento propiamente dicho (sub-argumento), el cual presenta respaldo teórico para apoyar a la justificación. Por lo que lo consideramos un argumento complejo.

De modo que, considerando las pruebas empleadas que son en su mayoría pruebas no apropiadas y que la estructura del argumento es compleja, consideramos que la calidad del argumento es baja. Sin embargo, hay que tener presente que han empleado algunas pruebas adecuadas y dado que la estructura del argumento es compleja, cabría pensar que la calidad del argumento sería mayor.



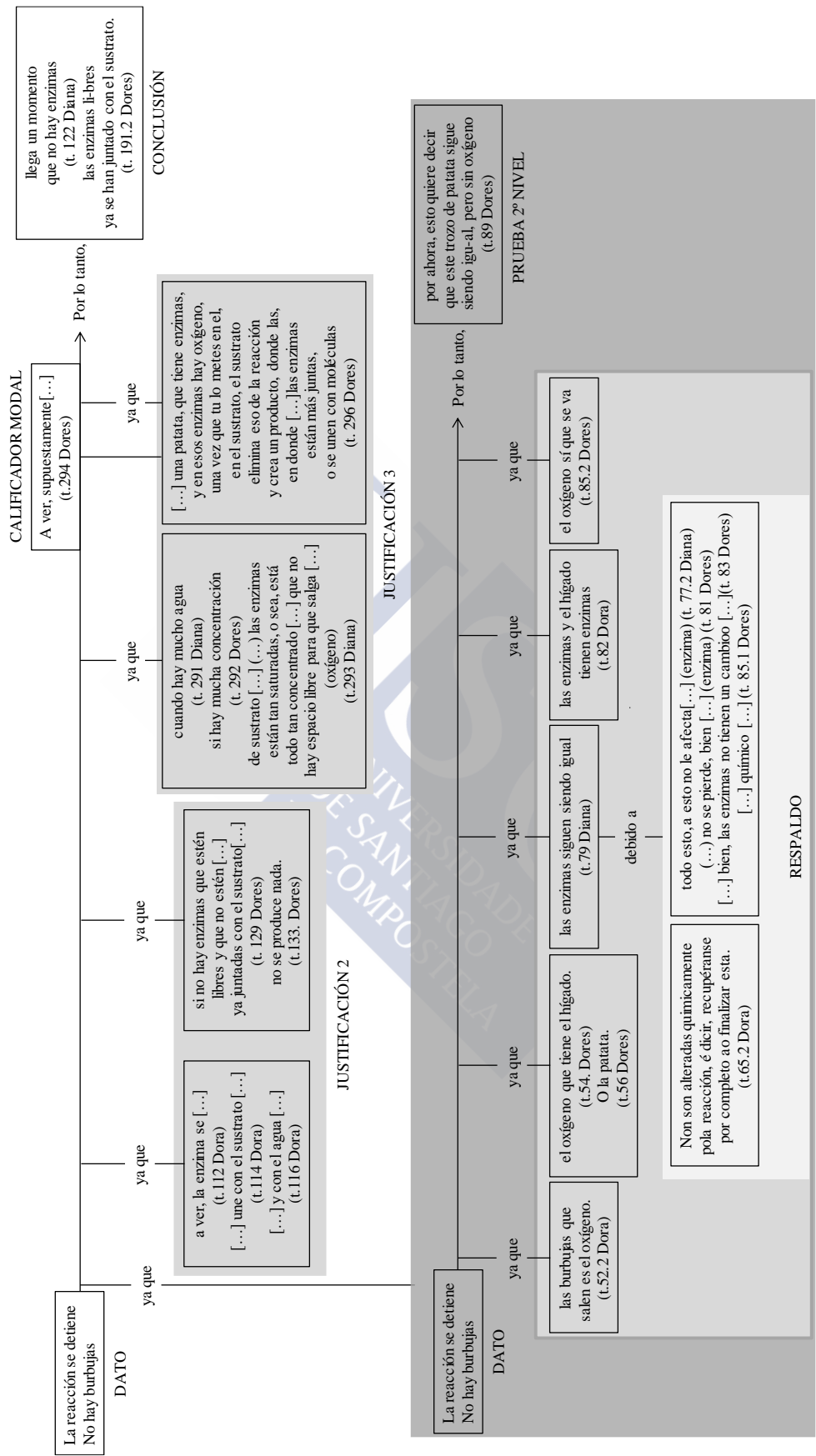


Figura 5.37: Argumento del grupo D en el que exponen la Hip.D₁ “no hay enzimas libres”

En el segundo argumento que construyen relacionan los datos, *la reacción se detiene, no hay burbujas* con la conclusión *si la cantidad de sustrato es mayor, la reacción será más lenta*, a través de las justificaciones aportadas a partir de la lectura de las propiedades de los enzimas en la hoja de ayuda, por tanto, están englobadas en el tipo de pruebas que denominamos teóricas (figura 5.39) con las que explican que la velocidad de reacción aumenta al aumentar la concentración de sustrato porque abunda el enzima libre, atribuyendo la diferencia en la velocidad de las reacciones a la concentración de sustrato.

t.194 Diana: *Yo creo que no, porque aquí dice que [...] mira, aquí, por ejemplo, dice candoo [...] con baixa concentración de sustrato, es decir, cuando hay poco agua [...]*

t.196 Diana: *[...] a velocidade de reacción aumenta [...] cuanta menos agua, la [...] reacciona más rápidamente [...] co aumento da concentración de substrato por que abunda a enzima libre e dispoñible.*

Entendemos que estas pruebas no son apropiadas porque no indican el motivo por el que se detienen las reacciones, simplemente indican que con menos sustrato la velocidad es más lenta.

A esta conclusión, segunda hipótesis, la denominamos Hip.D₂ “*si la cantidad de sustrato es mayor, la reacción será más lenta*”. El argumento completo se muestra en la figura 5.38.

Con relación a la calidad del argumento, consideramos que es de baja calidad porque las pruebas que engloba no son apropiadas y la estructura del mismo es sencilla, al estar formado solamente por los tres componentes principales.

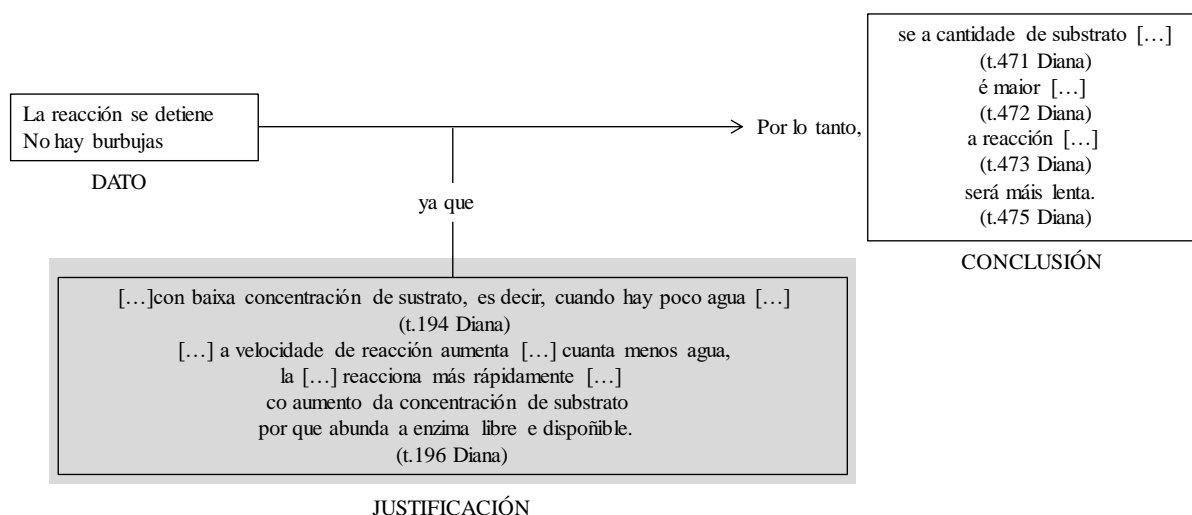


Figura 5.38: Argumento de Diana en el que expone la Hip.D₂ “*la reacción depende de la cantidad de sustrato*”.

Como ya indicamos, a partir del discurso natural de las estudiantes, interpretamos dos argumentos relevantes para el análisis argumentativo, estos argumentos nos ayudan a interpretar los razonamientos que siguen para dar respuesta a esta cuestión. El grupo D lleva a cabo un conjunto de razonamientos que nos llevan a inferir dos líneas argumentativas que se resumen en la figura 5.39.

La primera línea argumentativa comienza con la búsqueda de las posibles causas por las que la reacción se detiene, observamos que su primera conclusión es que las burbujas que se forman son del oxígeno (Diana t.45) *A ver, reacción (...) se produce el, el oxígeno ¿no?* Sin embargo, después de leer el guión de la actividad, Diana sigue teniendo dudas sobre la forma de resolver el problema (Diana, t.72) “*¡Claro! Pero, cómo [...] vas a comprobar eso*”. Por lo que recurren a la hoja de ayuda, para obtener información sobre la forma de resolverlo. Ésto les aporta las pruebas teóricas para relacionar los datos: *la reacción se detiene, no hay burbujas* con sus conclusiones.

DATOS (implícitos Act. I)	PRUEBAS 1 ^{er} NIVEL	PRUEBAS 2 ^o NIVEL	CONCLUSIONES (HIPÓTESIS)	REALIZAN EXPERIMENTOS “MENTALES”	CONCLUSIONES 2 ^o NIVEL
La reacción se detiene	1 ^a LÍNEA ARGUMENTATIVA				
	Teóricas	Por ahora, esto quiere decir que este trozo de patata sigue siendo igual, pero sin oxígeno.	no hay enzimas libres		
	<ul style="list-style-type: none">• las burbujas que se desprenden son el oxígeno• el oxígeno se desprende de las muestras (hígado y patata)• los enzimas no tienen cambio químico• los enzimas están en el hígado y la patata• el oxígeno se libera				
Teóricas	<ul style="list-style-type: none">• el enzima se une al sustrato y al agua• si no hay enzimas libres y que si no hay enzimas unidas al sustrato no se produce la reacción				
No hay burbujas	2 ^a LÍNEA ARGUMENTATIVA				
	Teóricas	<ul style="list-style-type: none">• la unión del enzima con el sustrato genera la saturación del enzima.• la saturación impide que el oxígeno se desprenda, indicando que las moléculas ocupan más espacio y cierran el paso al oxígeno• el sustrato provoca la formación del producto (oxígeno) que tienen los enzimas	si la cantidad de sustrato es mayor la reacción será más lenta.	la reacción sería más lenta con más cantidad de agua (oxigenada)	la reacción depende de la cantidad de sustrato
	<ul style="list-style-type: none">• con menos ‘agua’ la reacción es más rápida• con alta concentración de sustrato la velocidad alcanza una meseta				

Figura 5.39: Líneas argumentativas que sigue el grupo D para llegar a la conclusión de que la reacción depende de la cantidad de sustrato

Consideramos que van aportando conjuntos de pruebas a medida que avanzan en la tarea. Así, observamos que el primer conjunto de pruebas a las que apelan, les llevan a converger en una prueba de 2º nivel, *este trozo de patata sigue siendo igual, pero sin oxígeno*, con las que justifican que las burbujas que se desprenden son el oxígeno (Dora, t.52.2), que este oxígeno se desprende de las muestras (hígado y patata) (Dores, t.54 y t.56), que las muestras de hígado y patata tienen enzimas (Dora, t.82) y que los enzimas permanecen igual (Diana, t.79), respaldado por: 1) no tienen cambio químico (Dora, t.65.2, Dores, t.74, t.81, t.83 y t.85.1), 2) la reacción no les afecta (Diana, t.77.2) y, 3) el oxígeno se desprende en la reacción (Diana, 77.2).

Utilizando estas pruebas teóricas elaboran una prueba de 2º nivel, con la que indican que la patata después de la reacción ‘siguen siendo igual, pero sin oxígeno’. Sin embargo, en este grupo se aprecia la idea alternativa de que el oxígeno que se desprende proviene de las muestras de hígado y patata,

t.89 Dores: *Por ahora, esto quiere decir que este trozo de patata sigue siendo igual, pero sin oxígeno* [Prueba de 2º nivel]

El argumento que justifica esta prueba de 2º nivel se representa en forma de sub-argumento en la figura 5.37 (justificación 1).

Otro conjunto de pruebas (figura 5.37, justificación 2) englobadas dentro de esta línea argumentativa se infiere cuando intentan entender lo que pasa en la reacción y exponen su primera hipótesis, que denominamos Hip.D₁ “*no hay enzimas libres*” apelando a pruebas teóricas: el enzima se une al sustrato y al agua (Dora, t.112, t.114 y t.116) y no se produce reacción si no hay enzimas libres y enzimas que no estén unidas al sustrato (Dores, t.129 y t.133).

Integran estas pruebas en las justificaciones para concluir que si el enzima se une al sustrato y al agua ya no hay enzimas libres y que si no hay enzimas unidas al sustrato se detiene la reacción (Conclusión de 1º nivel, Hip.D₁).

Un tercer conjunto de pruebas, englobadas en esta 1ª línea argumentativa, se infiere cuando aportan otra justificación que atribuyen a la detención de las reacciones, y surge cuando intentan averiguar qué componente de los que tienen en la mesa es el producto. No obstante, a partir de sus intervenciones observamos que no tienen claro el concepto de producto.

t.253.2 Dores: *pero yo no sé lo que es el producto en [...] de manera práctica, yo no sé qué diferencia hay [...] desde que [...] quiero decir, si tu introduce el (...)*

t.254 Diana: *El producto es lo que se produce.*

t.255 Dores: *[...] ya, y qué es lo que se produce cuando metes un [...] una patata en agua.*

t.256 Diana: *Es la reacción.*

Observamos que Diana interpreta mal la cuestión planteada por Dores, pues piensa que le pregunta por el proceso, por lo que Dores reformula su pregunta:

t.257 Dores: *¡Bien! La reacción, pero ese producto es lo que ti-ene ahora aquí. Dime, que es ¿el líquido amarillo?*

t.258 Diana: *No sé.*

t.259 Dores: *¿Es lo que está en el agua?*

Esta pregunta queda sin responder, Diana retoma la discusión sobre las causas de la detención de la reacción para escribirlas en el informe.

t.260 Diana: *Polo que a reacción para. Es que no sé, polo que non hai [...] o sea, polo que non hai [...] Eso [...] ¿tiene algo que ver con el oxígeno?*

t.262. Diana: *¿Por qué para el oxígeno?*

Dores recuerda que en la sesión anterior (Act.1 “Acción catalítica dos enzimas”), la investigadora explicó el modelo escolar y el funcionamiento de las reacciones enzimáticas (Dores, t.263) *[...] (...) por que [...] cuando [...] comentaron lo de [...] la [...] fórmula en el encerado, no decían que era por el oxígeno. Lo que se desprendía [Dato].* Dores hace referencia a datos observados al producirse las reacciones en la sesión anterior, y Diana usa pruebas empíricas obtenidas de la experiencia cuando observan el desprendimiento de oxígeno, formando burbujas (Diana, t.264) *Las burbujas que salen, la espuma [...].* No obstante, Dores y Diana siguen teniendo la idea alternativa de que el oxígeno se desprende de la patata (Dores, t.265) *Era el oxígeno que tenía la patata,* (Diana, t.266) *Sí,* a pesar de recordar la fórmula de la descomposición del agua oxigenada, escrita en el encerado en la Act.1, no se percatan de que el oxígeno que se desprende en la reacción proviene del agua oxigenada. Pero sí tienen claro que los enzimas están contenidos en la patata.

t.267 Dores: *Y la patata no viene siendo [...] la enzima.*

t.268 Diana: *No, vamos a ver, las enzimas están en la patata [...]*

Mientras dialogan podemos observar que consideran que el sustrato es agua, pero llegan a la conclusión de que el oxígeno es producto, sin embargo, lo consideran como el único producto.

t.271 Dores: (...) *el sustrato es el agua y el producto la reacción que tiene [...]*
¡eh! [...]

t.272 Diana: *El producto es el oxígeno.*

t.273 Dores: *Esto ya no tiene oxígeno.*

t.274 Diana: *No sé, ¿sabes? Yo no sé qué más poner.*

Con esta última intervención de Diana (t.274) interpretamos que su mayor problema es redactar el informe, lo que es típico de la cultura escolar (Jiménez Aleixandre, Díaz de Bustamante y Duschl, 1998), por lo que recurren a la información de la hoja de ayuda. Interpretando la información, Diana considera que la detención está relacionada con la cantidad de sustrato (Diana, t.287) *Pues sí, yo creo que esto tiene que ver con con si hay más o menos agua, pero no que [...]* ¡Mm! y Dores identifica una variable de la reacción “cantidad de agua”, que Dores denomina ‘variante’ (Dores, t.288) *El agua es una variante. [...] La cantidad del agua.*

Las pruebas teóricas (figura 5.37, justificación 3) que emplean son: a) la unión del enzima con el sustrato genera la saturación del enzima (Diana, t.291.2 y Dores, t.293.2), justificando la detención de las reacciones debido a la unión del enzima con el sustrato, lo cual generaría la saturación del enzima, b) la saturación impide que el oxígeno se desprenda porque las moléculas ocupan más espacio y cierran el paso al oxígeno (Diana, t.293.3) y, c) el sustrato es el que provoca la formación del producto (oxígeno) que se libera del enzima (Dores, t.296).

Sin embargo, mientras acuerdan qué más escribir en el informe, a Dores le surge la duda sobre si el oxígeno que se desprende está en el enzima y es lo que provoca la reacción (Dores, t.308) *¿Sabemos seguro que el oxígeno es lo que está en la [...] enzima y es lo que produce que [...] la reacción [...] en el agua?* A esta pregunta le contesta Diana exponiendo que el oxígeno es un producto de la reacción (Diana, t.310.1) *[...]es lo que se produce.*

Siguen con la preocupación de redactar el informe (Diana, t.312) *Entonces que decimos del oxígeno.* En las siguientes intervenciones observamos el discurso que les lleva a justificar que la reacción se detiene por que las moléculas están juntas y no permiten el desprendimiento del oxígeno.

t.314 Dores: *Puedes decir [...] es que [...] es una reacción, entonces no sabemos si realmente es que hay oxígeno o hay lo que sea y se junta con el agua. Pero podemos decir que [...]*

t.315 Diana: *Si es una reacción, tú crees que [...] si es una reacción que tiene oxígeno, que, que lo ponía ahí, que era [...] ¡eh! Ache [...]*

t.316 Dora: *¡Claro! (...) simplemente, la reacción que se produce, lo que libera [...] es oxígeno, pero eso [...] ¡Claro! [...]*

t.317 Diana: *Ya está.*

t.318 Dores: *Tienes que decir, que no hay reacción por que las moléculas están juntas y no hay nada en que haga [...] que hag [...] ¡eeeh! [...] producir la reacción.*

Consideramos que la conclusión de 1^{er} nivel, Hip.D₁ “no hay enzimas libres”, de esta línea argumentativa no es acorde con el enunciado del problema, ya que, en el caso de que todo el enzima esté unido al sustrato, está saturado, la velocidad sería máxima, no se detendría la reacción. Por tanto, consideramos que esta línea argumentativa no es adecuada.

La 2^a línea argumentativa se infiere cuando Diana muestra inconformidad con las pruebas, justificación 1 (subargumento) y justificación 2, englobadas en la 1^a línea argumentativa. Es por ello, que en el t.194 comienza una nueva línea argumentativa centrada en la concentración de sustrato (2^a línea argumentativa). Diana aporta pruebas teóricas, obtenidas de la interpretación de la hoja de ayuda, con las que explica que la velocidad de reacción aumenta al aumentar la concentración de sustrato porque abunda el enzima libre, atribuyendo la diferencia en la velocidad de las reacciones a la concentración de sustrato (Diana, t.194 y t.196).

Dora en un principio apoya a Diana (Dora, 197.1) *¡Claro! Hay más [...] enzima que [...] que sustrato.* Sin embargo, en la misma intervención la refuta exponiendo que en los dos tubos añadieron la misma cantidad de sustrato (Dora, t.197.2) *Pero, es que eso da igual por que pusimos la misma cantidad de sustrato [...] en la patata y en todo.* Por lo que ambas (Dores y Diana) interpretan que lo que tienen que realizar en la actividad es comparar las reacciones ocurridas en la Act.1 con las reacciones que ocurrirán cuando realicen su experimento y así diseñan de forma implícita un experimento.

t.199 Dores: *Pero la cosa no es comparar la patata con el hígado.*

t.200 Diana: *No, la cosa es comparar lo de antes con [...]*

t.202 Diana: *[...] lo de ahora.*

Diana intenta respaldar sus justificaciones empleando una prueba teórica sobre la velocidad de reacción y la concentración de sustrato, que aparece en la hoja de ayuda.

t.214 Diana: *Aquí dice, con alta concentración de sustrato [...] a velocidade de reacción alcanza unha meseta cando os centros activos da enzima están saturados co sustrato complexo tal, e non queda enzima libre para unirse ao sustrato engadido.*

t.215 Dora: *Ahí está.*

Por tanto, escriben en el informe las causas de la detención de la reacción “CAUSAS: *cando se produce a reacción, as enzimas únense ao sustrato, pero co paso do tempo, os centros activos da encima están saturados co sustrato e non queda enzima libre para unirse ao sustrato engadido, polo que a reacción para*” (informe Act.2, 1^{er} párrafo) [1^a línea argumentativa], Diana expone su inconformidad con la exposición de las causas por las que se detienen las reacciones, la saturación de los centros activos, (Diana, t.242.2) “*Yo creo que no es esto, pero bueno [...]*”. Diana recurre a la hoja de ayuda para obtener pruebas para demostrarlo, sin embargo, observamos en las siguientes intervenciones que no tiene claro el concepto de sustrato.

t.243 Diana: *[...] ao sustrato, engadido. [...] Porque aquí pone, que el sustrato es el complexo eese [...] que sería el agua [...]*

t.244 Dora: *El agua oxi [...]*

t.245 Diana: *Pues, eso [...] y luego dice, para unirse ao sustrato engadido. ¿Qué es el sustrato engadido?*

Contestando a la pregunta de Diana sobre el sustrato añadido, Dora comenta que no lo pueden saber porque no se lo explicaron (cultura escolar), (Dora, t.246) *Diana, no podemos saber eso, con certeza, porque no nos lo han explicado ni [...] lo hemos estudiado, por eso (...).*

No obstante, dada una pausa en el desarrollo de la actividad por el enfado entre Dora y Dora, retoman la actividad con la 1^a línea argumentativa. Cuando tratan de diseñar un experimento para contrastar la Hip.D₁, Diana vuelve a proponer que la resolución del problema está relacionada con la concentración del sustrato, retomando la 2^a línea argumentativa. Llegando

a la conclusión de que la resolución del problema está relacionada con la concentración de sustrato.

t.418 Diana: *A ver, yo creo que lo que tiene que ver es la concentración de sustrato [...] porque factores que que afectan [...]*

t.419 Delia: *El pH [...]*

t.420 Diana: *[...] pH no [...] concentración del sustrato.*

t.421 Delia: *(...) un montón de agua [...] de agua.*

t.422 Dores: *Pero mira [...]*

t.423 Delia: *Está aquí igual [...]*

t.424 Dores: *Quiero decir, estos están igualados [...] hay más agua que el otro día.*

En la actividad se les proporcionó una probeta con suficiente cantidad de agua oxigenada para que pudieran realizar diferentes experimentos, pero ellas lo interpretaron que era para utilizar más cantidad de agua oxigenada en un solo experimento (cultura escolar).

Éste es motivo suficiente para reafirmar su Hip.D₂ “*si la cantidad de sustrato es mayor, la reacción será más lenta*” y para ello Dora propone una prueba experimental “mental”:

t.448 Dora: *Se supone que con más agua [...] la reacción va a ser más lenta.*

[Prueba experimental
“mental”]

t.449 Dores: *Sí.*

t.450 Dora: *Pues es echar el hígado, a ver qué pasa.*

Con esta prueba pretenden contrastar esta hipótesis, que constituye la conclusión de 1^{er} nivel de la 2^a línea argumentativa que siguen mientras realizan la tarea.

t.471 Diana: *Se a cantidade de substrato [...]*

t.472 Diana: *É maior [...]*

[Conclusión 1^{er} nivel,
Hip.D₂]

t.473 Diana: *A reacción [...]*

t.474 Estudiante: *Es mayor.*

t.475 Diana: *Será máis lenta.*

Tratan de comparar las velocidades de reacción con el recuerdo de las velocidades en la experiencia de la Act.1, como comprobamos en las siguientes intervenciones:

479 Dores: *¿Te acuerdas de cómo estaba el otro día?*

480 Delia: *Yo creo que reaccionaba más, o sea[...]*

481 Dora: *Yo también.*

482 Delia: *[...] bastante más.*

483 Dores: *Sí, (...)*

Después de realizar sus pruebas experimentales y observar que se cumplen sus predicciones para la Hip.D₂ “*si la cantidad de sustrato es mayor, la reacción será más lenta*” aceptan la Hip.D₂, llegando a la conclusión de 2º nivel, *la reacción depende de la cantidad de sustrato*.

Consideramos que esta línea argumentativa no es adecuada, ya que sus razonamientos no están encaminados al enunciado del problema, sino que se centran en la velocidad de la reacción en lugar de resolver las causas de su detención.

Finalmente, cuando analizamos la argumentación escrita, estas alumnas exponen las posibles causas por las que se detienen las reacciones destacando que todo el enzima está formando el complejo enzima-sustrato. Consideramos que podría ser una prueba apropiada, sin embargo, cuando todo el enzima está unido al sustrato, en el estadio intermedio de la reacción (complejo enzima-sustrato) la velocidad es máxima, ocurriendo lo contrario de lo que piensan, como ya se vino comentando.

En cuanto a la hipótesis escrita, “*HIPÓTESE: Se a cantidade de substrato é maior, a reacción será máis lenta*”, ésta no tiene que ver con las causas por las que se detienen las reacciones, lo cual ocurre porque su cultura escolar está tan interiorizada, que al ver que tenían más cantidad de agua oxigenada en comparación con la que tenían en la Act.1, elaboran sus hipótesis y su diseño experimental en relación a esta diferencia en la cantidad de sustrato aportado.

5.4.2. El proceso de indagación

El proceso de indagación, llevado a cabo por el grupo D, fue analizado utilizando como herramienta de análisis las etapas de investigación según el proyecto APU (1984) (figura 5.40).

La primera etapa del proceso de indagación consiste en percibir el problema que tienen que resolver. Estas alumnas entienden que deben realizar algún experimento para demostrar las causas por la que se detienen las reacciones, (Dora, t.42) *¿Por qué crees que puede cesar la reacción con la, la[...] reacción con el hígado?*

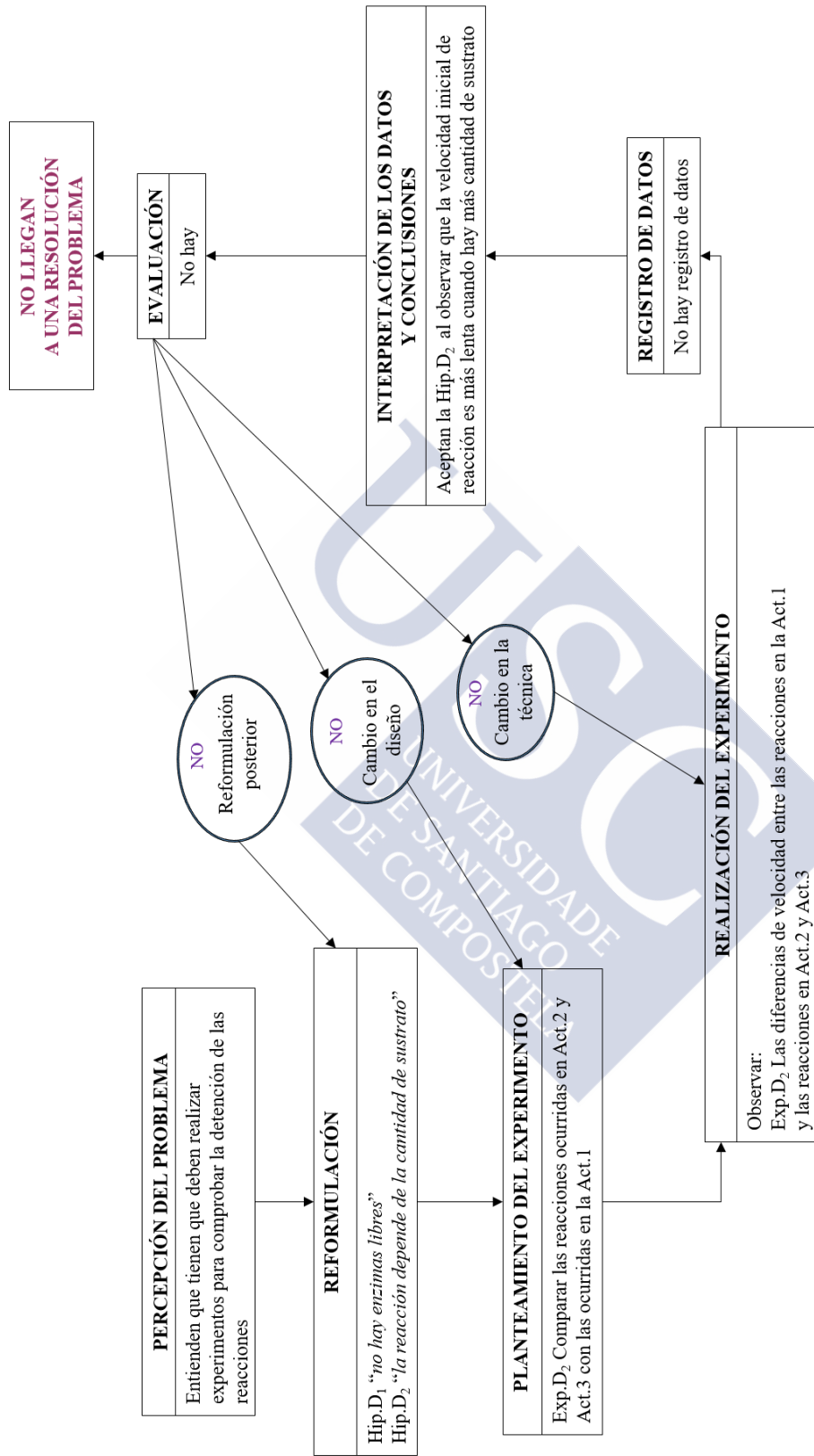


Figura 5.40: Representación del proceso de indagación del grupo D para la resolución del problema interpretado a partir de las etapas de investigación del proyecto APU (1984)

Para indicar las causas por las que se detienen las reacciones formulan dos hipótesis:

Hip.D₁ “*no hay enzimas libres*”, formulada por Dores (t.191). Con esta hipótesis consideran que la reacción se detiene porque todos los enzimas están unidos al sustrato formando el complejo enzima-sustrato. Consideramos que esta hipótesis podría ser pertinente con el problema, sin embargo, al interpretar de forma errónea la información de la hoja de ayuda, consideran que al unirse el enzima con el sustrato se detiene la reacción. No obstante, en este momento de la reacción, cuando los enzimas están en forma de complejo enzima-sustrato, la velocidad es máxima, por tanto, nunca podrá estar detenida. Para demostrar esta hipótesis no realizaron ningún experimento.

Hip.D₂ “*la reacción depende de la cantidad de sustrato*”, formulada por Diana (t.471, t.472, t.473 y t.475). Con esta hipótesis consideran que las velocidades de reacción son diferentes dependiendo de la cantidad de sustrato utilizada. Esta hipótesis no es pertinente con el problema planteado, aunque sí es cierto que la reacción se produce a diferente velocidad dependiendo de la cantidad de sustrato, no permite determinar las causas de la detención de las reacciones, ya que está encaminada a determinar las diferencias en las velocidades de reacción. Para esta hipótesis planificaron un experimento Exp.D₂.

Sin embargo, Dores expone su duda sobre si reaccionarán otra vez las muestras al realizar la misma experiencia de la Act.1 “*Acción catalítica dos enzimas*” (Dores, t.232) *¡Claro! (...) con lo de plantearlo [...] ¡Claro! La comparación es [...] ¡eeeh! Hicimos lo mismo con una patata y con un hígado hace dos días [...] y ahora ya no hay reacción y ahora lo vamos a volver a hacer, y ¿reaccionará otra vez? [...] (...) tiene que ser [...]. Pero, en este caso es Dora la que afirma categóricamente, mostrando su cultura escolar (Dora, t.234) Si nos dan un hígado y una patata, ¡tía! [...] no, no hay que hacer ninguna hipótesis, hay que comentarlo, se refiere a eso. A pesar que en una intervención anterior afirmaba que era su hipótesis (Dora, t.218.1) Es nuestra hipótesis, Diana.*

Consideran que ya establecieron el motivo por el que se detienen las reacciones. Por tanto, el siguiente paso del proceso de indagación es el planteamiento del experimento. Para demostrar si su Hip.D₂ les permite resolver el problema, planifican un experimento en el cual Dores

propone una comparación (Dores, t.326) (...) *comparar ¡eeeh! [...] el trozo de hígado y patata [...] de hace dos días que no [...]*, que Diana reafirma (Diana, t.330) (...) *se comparamos [...] [...] se comparamos [...]* (Diana, t.331) *¡Eeeh! [...] Ofogado [...] Ofogado e a pataca [...]* El experimento consiste en comparar las velocidades de reacción que se produjeron en la Act.1 con las velocidades de reacción que se producirán cuando realicen el experimento, que denominamos:

Exp.D₂ “*comparar las reacciones ocurridas en Act.2 y Act.3 con las ocurridas en la Act.1*”.

Delia se da cuenta de que tienen dos hojas de actividades, por lo que indica a sus compañeras que son dos experimentos, uno para el hígado y otro para la patata (Delia, t.332) *No, pero decía, este es sólo del hígado. [...] o sea, la patata es el otro [...] experimento.*

Como en la actividad se les pide que predigan lo que creen que puede pasar cuando lo realicen, antes de realizar cualquier experimento, Diana (encargada de escribir el informe) pregunta qué pone y plantea, a sus compañeras, sus dudas sobre la predicción de lo que pasará con los experimentos que realicen y sobre su hipótesis (Diana, t.349) *Na reacción de hoxe [...] ¿Qué pasará? [...] ¿Qué decimos que pasa? Que [...] e [...] so [...] es que no tiene mucho sentido la hipótesis [...]*.

Dores y Diana comienzan a discutir sobre lo que van a hacer con la patata y su predicción de que al realizar el experimento se producirá reacción.

t.359 Dores: *¿Qué vamos a hacer con la patata? ¿Tú crees que [...]*

t.361 Dores: *[...] alguna [...]*

t.363 Dores: *[...] alguna diferencia con [...] la patata y el hígado?*

t.364 Diana: *¡Yo que sé! No tengo ni idea.*

t.365 Diana: *Na reacción de hoxe, ¿Qué pasa?*

t.366 Dores: *No sé, (...) tenemos que ver lo que pasa hoy [...]*

t.367 Diana: *Se supone que reaccionará.*

t.368 Dores: *Se supone, se supone ¿no?*

t.369.1 Diana: *Si,*

En este momento, Dora expone sus dudas sobre los experimentos que quieren realizar sus compañeras, ya que cree que si hacen el mismo experimento de la Act.1 pasará lo mismo, pero Delia indica que es para comparar ambos experimentos.

t.370 Dora: *Pues yo no entiendo nada de esto, es que no me tiene ningún sentido volver a hacer el mismo experimento que el otro día, ¿Qué va a pasar? Lo mismo que de hace dos días.*

t.371 Delia: *Pues es lo que hay que hacer.*

t.372 Dora: *No, ya, ya [...] [...] y [...] a lo mejor, no hay que hacerlo. ¿Hay que hacer eso seguro?*

t.373 Dora: *Digo yo, y porque nos darán los trozos de [...] [...] nos dejan dos [...] (...) agua [...] [...] [...] nos dejan estos dos.*

t.374 Delia: *Para comparar.*

Observamos que Dora y Delia consideran que deben realizar la misma experiencia que en la Act.1, porque como se les proporciona una porción de hígado, otra de patata y una cantidad de agua oxigenada, deben utilizar este material para realizar ese experimento (cultura escolar). Aún así, discuten sobre el diseño experimental, Diana está de acuerdo con Dora de que los resultados que obtendrán al realizar el mismo experimento de la Act.1 serán los mismos, por lo que Dora indica que lo que tienen que comparar es el ‘momento’ en el que se produce la reacción, identificando la variable “velocidad de reacción”.

t.375 Diana: *Ya, pero no tiene interés en lo de comparar, ¿Qué vas a comparar? [...] Si, si haces lo del otro día va a pasar lo mismo.*

t.376 Delia: *(...) compararlo cuando [...]*

t.377 Dora: *Comparar ¡eeh! [...] el momento.*

t.378 Delia: *(...) reacción [...]*

t.379 Dora: *(...) reacción (...) que no queda [...] supongo que será eso. [...] Pero tampoco le veo mucho la diferencia de hígado a [...] a patata.*

Dora interpreta que Dora vuelve a proponer la comparación del hígado con la patata e indica que no que deben comparar el hígado con la patata.

t.380 Dora: *Es que no hay que comparar el hígado con la patata.*

t.381 Dora: *Vamos a ver, hay un papel de la patata y otro del hígado.*

t.382 Diana: *Por eso, no hay que comparar la patata con el hígado.*

t.383 Dora: ¡Claro!

t.384 Dora: *Ya, ya sé que no [...] pero [...] vamos a ver, evidentemente vas a poner lo mismo en el hígado y en la patata, porque no, no es la cuestión. [...] Lo único que cambia es que, ¡vale! A lo mejor el hígado reacciona antes o después y la patata, pues, así ¿sabes?*

Observamos que su diseño experimental consiste en comparar las reacciones del día anterior con las que ocurrirán cuando realicen su experimento, pero es Diana la que hace la observación de que las comparaciones no deben ser entre las reacciones de patata y las de hígado, sino que la deben realizar entre las reacciones de patata con patata e hígado con hígado. A pesar de ser ella la que propone dicha comparación, no está convencida de que sea esa la forma de resolver el problema (Diana, t.389) *Que decís, que es simplemente comparar [...] Es que [...] no sé, no entiendo [...]*, por lo que recurre a la hoja de ayuda, y utilizando la información relacionada con los factores que afectan a los enzimas llegan a la conclusión de que la resolución del problema tiene que estar relacionada con la concentración del sustrato (Diana, t.418) *A ver, yo creo que lo que tiene que ver es la concentración de sustrato [...] porque factores que que afectan [...]*.

Deciden realizar el experimento (Delia, t.425) *Bueno, pues vamos a probar a ver qué pasa [...] y, como en otras ocasiones, podemos observar cómo influye en su discurso la cultura escolar, porque tienen en cuenta la cantidad de agua oxigenada y el número de tubos de ensayo aportados (Diana, t.427) “A ver, entonces [...] pero vamos a pensar. Si no nos dan tres tres cosos, nos dan dos, nos dan más agua [...] tiene que tener tener con lo que ver con con la [...] cantidad de agua que hay [...] o ¿no?”.*

t.428 Dora: ¡Hombre! Hay más que el otro día.

t.429 Diana: *Pues, por eso [...] entonces tenía algo que ver lo de [...] si ponemos más [...]*

[Exp.D₂]

t.431 Diana: *[...] más cantidad o menos.*

Entonces, Dora que había identificado la variable “cantidad de sustrato” (Dora, t.288) *El agua es una variante. [...] La cantidad del agua*, expone que es esa la variable que deben controlar en el experimento, para comparar lo que ocurre cuando se añade una cantidad diferente de sustrato (Dora, t.433) *Entonces, eso sería [...] ¡vale! [...] eso sería la la variable [...] de qué pasa cuando tienes más agua y qué pasa cuando tienes menos (Dora, t.434) En comparación.*

Por tanto, no necesitaron elaborar un nuevo diseño, simplemente utilizaron la misma experiencia que en la Act.1, controlando la variable identificada “cantidad de sustrato”, por lo que deciden incrementar la cantidad de sustrato utilizada. En la figura 5.41 se representa el procedimiento de resolución.

Sin embargo, Diana y Dora no están convencidas de que con ese experimento puedan resolver el problema:

t.435 Diana: *¡Claro! Pero [...]*

t.437 Diana: *[...] pero eso no tiene nada que ver [...]*

t.438 Diana: *[...] con las causas [...] de porque [...]*

t.443 Dora: *Pero, ¿qué tiene que ver, que haya más agua con que te pregunte por que causas ya[...]*

t.445 Dora: *[...] se acabó la [...] reacción?*

Para convencerlas Dores recurre a la hoja de ayuda y expone sus motivos para realizar ese experimento (Dores, t.446) *¡Claro! Porque esto[...] te dice[...] eeh, esto comprueba esto. Con baixa concentración de sustrato[...]* (Dores, t.448) *[...] a velocidade de reacción, aumenta repentinamente(...)[...]*. Dora interpreta que si la cantidad de sustrato es mayor la reacción será más lenta (Dora, t.449) *Se supone que con más agua[...] la reacción va a ser más lenta*, con la respuesta afirmativa de Dores, Dora queda convencida de que eso debe ser lo que tienen que hacer (Dora, t.451) *Pues es echar el hígado, a ver qué pasa.*

Después de realizar el experimento con la muestra de hígado, el siguiente paso en el proceso es la interpretación de los datos obtenidos y el establecimiento de las conclusiones, ya que no se les pidió que registraran los datos de forma explícita, simplemente debían indicarlos en el informe escrito.

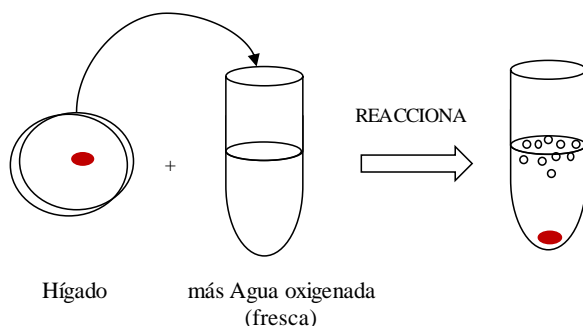
t.479 Dores: *¿Te acuerdas de cómo estaba el otro día?*

t.480 Delia: *Yo creo que reaccionaba más, o sea [...]*

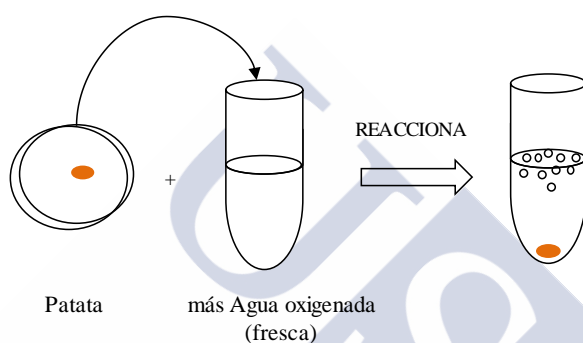
t.481 Dora: *Yo también.*

t.482 Delia: *[...] bastante más.*

t.483 Dores: *Sí, (...)*



- a) Procedimiento del experimento realizado por el grupo D para comprobar “*que con más agua a reacción prodúcese con menor rapidez*” (informe Act.3, 1^{er} párrafo)



- b) Procedimiento del experimento realizado por el grupo D para comprobar “*que con más agua a reacción prodúcese con menor rapidez*” (informe Act.3, 1^{er} párrafo)

Figura 5.41: Procedimiento de los experimentos realizados por el grupo D: a) Act.2 “¿Por qué paró la reacción con el hígado?” y b) Act.3 “¿Por qué paró la reacción con la patata?”

Después de interpretar los resultados obtenidos en el experimento con la muestra de hígado, Dora y Dores realizan el experimento con la muestra de patata, observan la reacción e intentan comparar las velocidades de reacción de los dos días:

t.530 Dores: *Pero a mí me parece ver que reacciona más que [...]*

t.531 Diana: *A mí también.*

t.532 Dores: *[...] el otro día.*

t.533 Estudiante: *Sí.*

t.534 Dores: *¿Te acuerdas de cómo reaccionaba el otro día?*

t.535 Delia: *Yo creo que está reaccionando más o menos igual, ¡eh!*

A pesar de llegar al acuerdo de comparar las muestras de patata entre sí y de hígado ente sí, cuando observan la reacción producida al introducir la patata en el agua oxigenada, intentan comparar la reacción de la patata y del hígado con el agua oxigenada.

t.536 Diana: *Yo creo que más rápido. Yo creo que el hígado más lento y esto más rápido. Porque el hígado, más lento y no tanto.*

t.538 Delia: (...) *patata, del hígado y la patata era el que más [...] ¿no sabes? Había sido el menos rápido.*

t.539 Dores: *Este es el hígado.*

t.540 Dores: *Es que [...] ¿compara el agua? ¡tío!*

Una vez interpretados los resultados, establecen las conclusiones que van a escribir en el informe, volvemos a observar cómo influye la cultura escolar en sus acuerdos: “*Chegamos a conclusão que tendo maior cantidade de auga que o outro día, o experimento ten que estar relacionado coa diferenca de cantidade de substrato*” (informe Act.2, 3^{er} párrafo), siguen redactando y señalando los pasos que decidieron realizar a partir de su conclusión, pero en el caso del hígado, escriben después de realizar el experimento (Dora, t.491) *Antes de hacerlo, teníamos que haber puesto [...] lo que íbamos hacer*, (Diana t.492) *Pues, ponemos lo que [...] hicimos [...]*.

A Diana le surge una duda sobre el tamaño de las muestras y pregunta si lo incluyeron en el informe (Diana, t.570) *Y dices que el trozo de hígado y eso sea de la misma [...] sea del mismo tamaño*, identificando la variable “cantidad de enzima” (Diana, t.572) *Porque eso también influye*. Dores niega esa posibilidad porque considera que no pueden medir el tamaño de la muestra (Dores, t.575) *Porque tampoco puedes medir el tamaño, que también [...]*, observando Delia que la muestra de la Act.1 se deteriora (Delia, t.576) *Porque ahora se está desintegrando, es decir [...]*, apoyando Dores esta observación (Dores, t.577) *Se está deshaciendo*. Sin embargo, Diana compara las muestras utilizadas en la Act.1 con las utilizadas en esta segunda sesión y expone que la muestra (patata) de la reacción que acaban de realizar tiene mayor tamaño (Diana t.579) *Es que es bastante más grande, ¡eh!*

Sin darle importancia a la variable “cantidad de enzima”, terminan de escribir el informe de la actividad con el hígado y Diana pregunta por la hoja de la reacción con la patata.

t.601 Diana: [...] *¿Hicisteis lo de la pata [...] hicisteis lo de la patata, también? [...] El otro [...] el segundo folio.*

Como el tiempo de laboratorio está a punto de terminar, Dora propone que haga referencia a la hoja de informe del hígado (Dora, t.605) *Pues es lo mismo, que igual que no [...] caso anterior [...]*, apoyado por Dores (Dores, t.614) *¡Eeeh! (...) patata. La patata. Comparamos[...] eeeh! Experimento [...] o mesmo experimento cunha diferenca, cantidade de sustrato, no que [...]*

Diana, que estaba escribiendo el informe del hígado y no observó el experimento con la patata, pregunta si se cumple la hipótesis con esta muestra, contestando Dores que sí, ya que realizó el experimento junto con Dora. Para acabar de escribir la hoja de informe de la patata Diana pide ayuda, llegando a la conclusión de que con más sustrato (agua) la velocidad es más lenta.

t.627 Diana: *Espera, a ver. Con máis auga ¿qué? ¡Eeehh!*

t.628 Dores: *¡Aaah! [...] con máis auga [...]*

t.629 Diana: *Con máis auga [...]*

t.630 Dores: *[...] logicamente ¡eh! [...] non reacciona tanto.*

t.631 Dora: *No, no reacciona tan rápido.*

t.634 Diana: *Prodúcese con menor velocidade.*

t.636 Diana: *Con menor rapidez.*

Sin embargo, Diana duda de que esta conclusión tenga que ver con las causas de la detención de las reacciones (Diana, t.638) *Y esto tiene que ver con las causas (...) porque [...]*. Consideramos que Diana intenta evaluar el proceso de indagación que llevaron a cabo, pero Dores refuerza su conclusión señalando el modelo escolar en la hoja de ayuda, exponiendo que lo que realizaron está relacionado con dicho modelo, que ella denomina ‘fórmula’ (Dores, t.639) *Esto tiene que ver con el [...] la fórmula de esta.*

Por todo lo expuesto, consideramos que no llegan a una resolución del problema planteado, ya que sus indagaciones fueron encaminadas a determinar las diferencias en las velocidades de reacción y no llegan a determinar ninguna de las causas por las que se detienen las reacciones. Además, ambas hipótesis no son pertinentes y el experimento que planifican consiste en repetir la experiencia de la Act.1 con la modificación de añadir más cantidad de agua oxigenada. Por tanto, el proceso de indagación llevado a cabo por este grupo es de baja calidad teniendo en cuenta los criterios de calidad establecidos para el análisis de este proceso.

5.4.3. El proceso de modelización

Analizamos el proceso de modelización, construcción y uso del modelo, utilizando el MMD, el correspondiente al grupo D está representado en la figura 5.42.

Las chicas pertenecientes a este grupo entienden que el objetivo de la tarea es explicar las causas por las que se detienen las reacciones enzimáticas, como observamos en la intervención de Dora cuando pregunta (Dora t.42) *¿Por qué crees que puede cesar la reacción con la, la [...] reacción con el hígado?*

Para construir el modelo necesitan seleccionar el origen del modelo, como indican Justi y Gilbert (2002), utilizando aspectos de la realidad que les permitan dicha selección. En este grupo son 1) la observación de las reacciones, 2) que se detienen después de un tiempo (ambos datos empíricos), y 3) la interpretación de los datos aportados en la hoja de ayuda referentes a la actuación de los enzimas y sus propiedades (datos teóricos).

El siguiente paso de la construcción de modelos consiste en utilizar la experiencia que tienen con el “objeto” a modelar, como ya comentamos cuando analizamos el proceso de modelización en otros grupos, la experiencia que tienen en relación a los enzimas y su actividad es la Act.1 “*Acción catalítica de los enzimas*”, en esta actividad debían estimar las velocidades de reacción que se producen cuando se añaden muestras que contienen enzima catalasa en tubos de ensayo con agua oxigenada.

Interpretamos que elaboran *modelos mentales* cuando los expresan transformándolos en *modelos expresados* (individuales), como en el caso de Dora que expresa que los enzimas no se modifican a nivel químico en la reacción (Dora, t.65.2) (enzimas) *Non son alteradas químicamente pola reacción, é dicir, recupéranse por completo ao finalizar esta*. Sin embargo, para que el modelo sea un *modelo consensuado* debe estar aceptado por el grupo.

Para elaborar su primer modelo (modelo D₁) se fundamentan en datos: a) el oxígeno está en el hígado, b) el oxígeno sí que se va (datos empíricos), c) las burbujas son el oxígeno, d) los enzimas no son alterados químicamente y, e) los enzimas se regeneran (datos teóricos). Con estos datos construyen el modelo que denominamos modelo D₁ “*los enzimas siguen siendo igual, pero sin oxígeno*”, interpretado a partir de la justificación 1 de la figura 5.37. Con este modelo expresan que el enzima, que consideran toda la muestra (hígado o patata), conserva todas sus propiedades después de la reacción, se recuperan, incluso respaldan su justificación

interpretando el material teórico. No obstante, tienen la idea alternativa de que el oxígeno que se desprende en la reacción proviene de las muestras de hígado y patata, producto de la observación de la formación de burbujas cerca de las muestras. Consideramos que este modelo es parcialmente adecuado, ya que es cierto que los enzimas se recuperan, pero no es cierto que el oxígeno provenga de las muestras (hígado y patata).

Inferimos que realizan experimentos mentales para comprobar el modelo D₁, aunque no los expresen verbalmente. Al considerar el resultado incorrecto (nomenclatura del MMD), lo modifican elaborando su modelo D₂ “*no hay enzimas libres*”. Para la construcción del modelo D₂, además utilizan otros datos: a) el enzima se une con el sustrato, b) si no hay enzimas libres y que no estén unidas con el sustrato, y c) los enzimas están saturados. Este modelo D₂ “*no hay enzimas libres*”, lo interpretamos a partir del argumento representado en la figura 5.34. Con este modelo exponen que la causa de que se detengan las reacciones se debe a que todos los enzimas están unidos al sustrato formando el complejo enzima-sustrato (Dores, t.191) *Vamos a ver, hay un momento que la reacción se acaba porque las enzimas li-bres ya se han juntado con el sustrato*. Este modelo no lo consideramos adecuado, ya que en la reacción ocurre lo contrario de lo que explican con su modelo, en el momento de la reacción, cuando todo el enzima está unido al sustrato, la velocidad de reacción es máxima. Además, si se detiene la reacción en este paso, el sustrato nunca se transformará en producto. Para este modelo no realizaron experimentos mentales, ni planificaron ningún experimento para demostrar si con él, podían explicar las causas por las que se detienen las reacciones.

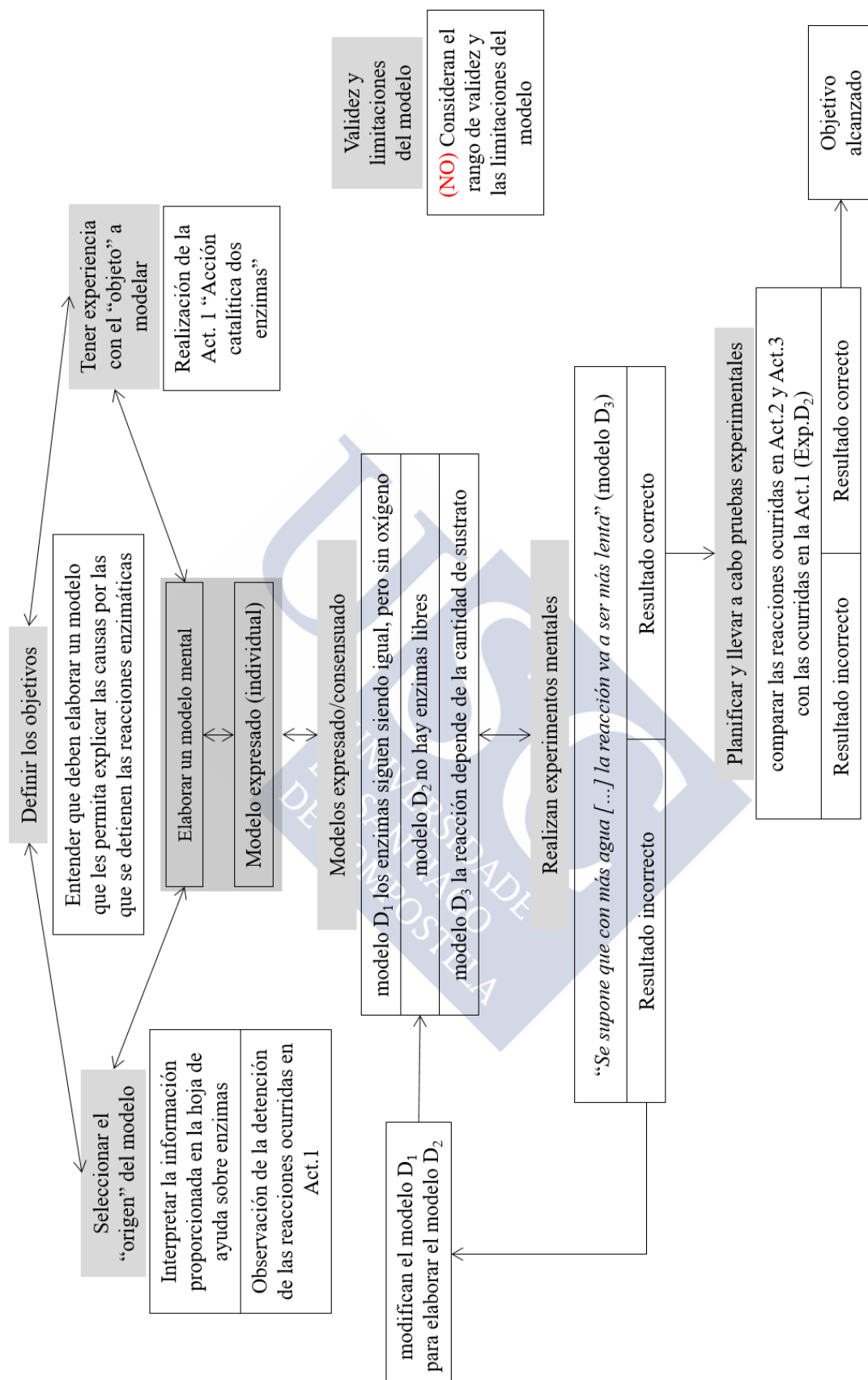


Figura 5.42: Proceso de modelización del grupo D mientras realizan la actividad

Elaboran un nuevo modelo, el cual inferimos a partir de su discurso mientras buscan la forma de resolver el problema, recurriendo a los datos implícitos de la Act.1: *la reacción se detiene, no hay burbujas* y a nuevos datos, la concentración de sustrato y la velocidad de reacción. Usando estos datos elaboran un modelo que denominamos modelo D₃ “*si la cantidad de sustrato es mayor, la reacción será más lenta*”, interpretado a partir del argumento representado en la figura 5.38. Con este modelo explican que la velocidad de reacción es menor cuando se utiliza mayor cantidad de agua oxigenada. Consideramos que este modelo no es adecuado comparado con el modelo escolar, tampoco es adecuado para la resolución del problema al no explicar las causas por las que se detienen las reacciones. Para este modelo realizaron experimentos mentales, que ejecutan posteriormente, para ello planifican y llevan a cabo su prueba experimental Exp.D₂ “*comparar las reacciones ocurridas en Act.2 y Act.3 con las ocurridas en la Act.1*”, que consiste en comparar las velocidades de reacción ocurridas en la Act.1 con las que ocurran cuando realicen el experimento con ambas muestras (hígado y patata).

Identificamos tres modelos consensuados:

modelo D₁ “*los enzimas siguen siendo igual, pero sin oxígeno*”

modelo D₂ “*no hay enzimas libres*”

modelo D₃ “*si la cantidad de sustrato es mayor, la reacción será más lenta*”

Los resultados que obtienen de la realización del Exp.D₂ (la observación subjetiva de que las reacciones se producen a menor velocidad cuando añaden más cantidad de sustrato) les llevan a explicar que las velocidades de reacción son diferentes dependiendo de la cantidad de sustrato utilizada, por lo que consideramos que aceptan el modelo D₃.

Sin embargo, aunque Diana cuestiona la validez del experimento (Diana, t.638) *Y esto tiene que ver con las causas (...) porque [...]*, Dores la convence de lo contrario (Dores t.639) *Esto tiene que ver con el [...] la fórmula de esta* (representación del modelo escolar), porque relaciona el experimento con la representación del modelo escolar de la hoja de ayuda, por lo que no consideran la validez y las limitaciones. Este grupo no alcanzan los objetivos de la actividad, al no plantearse en ningún momento que tanto su modelo D₃, como el experimento relacionado con dicho modelo, no permiten explicar las causas por las cuales se detienen las reacciones. Sin embargo, si realizaran experimentos mentales y planificaran experimentos

para sus dos primeros modelos, podrían llegar a explicar las causas por las que se detienen las reacciones.

Cuando analizamos los modelos de sus producciones escritas, observamos que exponen como causa de la detención de las reacciones la saturación de los centros activos del enzima con el sustrato, “CAUSAS: cando se produce a reacción, as enzimas únense ao substrato, pero co paso do tempo, os centros activos da encima están saturados co substrato e non queda enzima libre para unirse ao substrato engadido, polo que a reacción para” (informe Act.2, 1^{er} párrafo). Consideramos que con este modelo explican la primera parte del modelo escolar, sin comprender que el enzima se libera cuando el sustrato se transforma en producto. Interpretamos este modelo como su segundo modelo consensuado, modelo D₂ “no hay enzimas libres”, el cual representamos en la figura 5.43, donde se comparan los componentes del modelo D₂ con los del modelo escolar, en color rojo se representan los componente que no usan para elaborar el modelo.

Por lo expuesto anteriormente, entendemos que existe cierto progreso en el uso del modelo pues modifican el modelo D₁ “los enzimas siguen siendo igual, pero sin oxígeno” para elaborar el modelo D₂ “no hay enzimas libres” aproximándose al modelo escolar del proceso enzimático. Aún sí ambos modelos no son válidos, tanto al compararlos con el referencial como para usarlos para explicar con ellos la detención de las reacciones. El último modelo construido, modelo D₃ “si la cantidad de sustrato es mayor, la reacción será más lenta”, el cual usan para dar respuesta al problema, es menos apropiado para generar una respuesta al problema planteado y se aleja del modelo referencial, por lo que consideramos, finalmente, que en este grupo no hay un progreso adecuado en el uso del modelo de interacción enzima-sustrato.

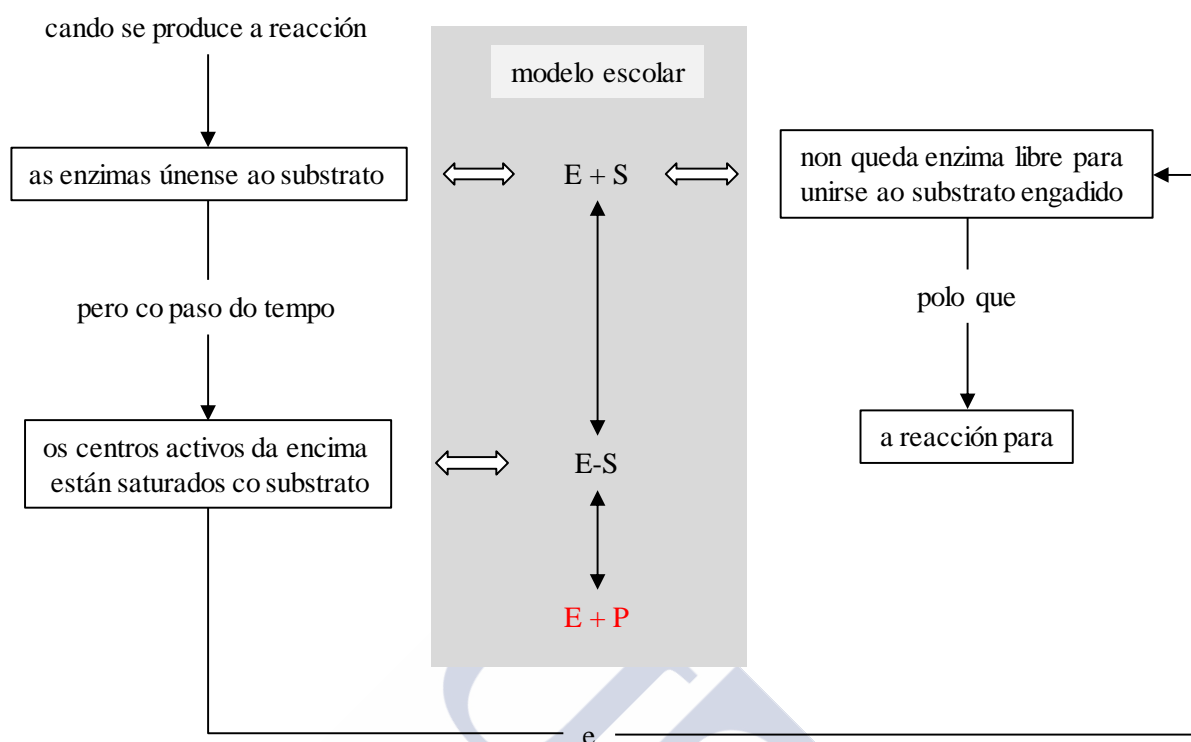


Figura 5.43: Representación del modelo incluido en el informe de la Act.2 “¿Por qué paró la reacción con el hígado?”, modelo D₂ “no hay enzimas libres”, y su comparación con el modelo escolar. En color rojo se representan los componentes que no utilizan en la construcción y uso del modelo.

5.4.4. Discusión y conclusiones parciales del grupo D

Una vez analizados los procesos de argumentación, indagación y modelización, contestamos a las preguntas de investigación a partir de los resultados del grupo D.

1ª pregunta de investigación: ¿Cuál es la calidad de los argumentos que emplean los estudiantes en la resolución del problema?

A partir del discurso natural de las integrantes de este grupo, reconstruimos dos argumentos que son trascendentes para la resolución del problema.

En el primer argumento, en el que exponen su primera conclusión Hip.D₁ “no hay enzimas libres”, indican que la reacción se detiene porque todos los enzimas están unidos al sustrato. Este argumento está apoyado en tres justificaciones. La primera justificación es un sub-argumento en el que concluyen que la patata está igual, pero sin oxígeno [prueba 2º nivel]. Para ello usan pruebas de tipo teórico como: a) las burbujas que se desprenden son el oxígeno,

b) el oxígeno se desprende de las muestras (hígado y patata), c) los enzimas no tienen cambio químico, d) los enzimas se encuentran en el hígado y en la patata y, e) el oxígeno se libera. Consideramos que estas pruebas son apropiadas, menos la prueba en la que exponen la idea de que el oxígeno se desprende de las muestras (hígado y patata), aunque cabe la posibilidad de que se estuvieran refiriendo a las burbujas que se forman en la superficie de las muestras, en cuyo caso sería aceptable. La segunda justificación aporta dos pruebas, a) el enzima se une al sustrato y al agua, también es apropiada, porque es cierto que el enzima y el sustrato se unen, sin embargo, consideran que el sustrato y el ‘agua’ no son lo mismo, se trata de una de las situaciones en las que haber utilizado el término agua oxigenada se presta a equívoco y b) no se produce reacción si no hay enzimas libres y enzimas que no estén unidas al sustrato, ésta no es una prueba apropiada ya que, contradice la conclusión, pues si todos los enzimas están unidos al sustrato la velocidad es máxima. La tercera justificación incluye pruebas con la que indican que a) la unión del sustrato con el enzima provoca la saturación del enzima, b) esta saturación impide que el oxígeno se desprenda al ocupar las moléculas más espacio, y c) el sustrato es el que provoca la formación del producto (oxígeno) que se libera del enzima, estas pruebas no son apropiadas, porque al producirse la saturación del enzima, la velocidad es máxima y el oxígeno se libera al descomponerse el agua oxigenada (sustrato).

En el segundo argumento que reconstruimos, relacionan los mismos datos, *la reacción se detiene, no hay burbujas*, con la conclusión, *si la cantidad de sustrato es mayor, la reacción será más lenta*, apelando a pruebas teóricas: 1) con menos ‘agua’ reacciona más rápidamente, con la que justifican que la velocidad de reacción depende de la cantidad de sustrato que se introduzca en el tubo de ensayo y 2) con alta concentración de sustrato la velocidad alcanza una meseta, con la que justifican que la reacción es más lenta. Consideramos que no son apropiadas porque no relacionan de forma pertinente los datos con la conclusión a la que llegan, ya que no determinan los motivos por los que se detienen las reacciones.

En resumen, mientras que la calidad del primer argumento era baja, la del segundo es media, aunque no mejoran en el uso de las pruebas sí integran más elementos argumentativos en el discurso, lo que enriquece el proceso. Del análisis del proceso de argumentación concluimos que estas alumnas: a) son capaces de relacionar los datos con las conclusiones a partir de justificaciones que no siempre son apropiadas, b) son capaces de usar calificadores modales para expresar la fuerza que le confieren a la justificación, c) como justificación del primer argumento, usan un sub-argumento, d) no contraargumentan ningún argumento propuesto por

otra estudiante y e) sólo en una ocasión refutan las conclusiones de sus compañeras. Sin embargo, a pesar de no contraargumentar ni refutar, las preguntas que se formulan, cuando no están conformes con lo expuesto por sus compañeras, les lleva a tener que demostrar qué sus razonamientos son correctos, de modo que deben aportar más pruebas, como en su primer argumento, que aportaron tres justificaciones para apoyar su conclusión.

2ª pregunta de investigación: *¿En qué medida las líneas argumentativas les llevan a conclusiones acordes con el enunciado del problema?*

Al extraer las líneas argumentativas, observamos que a partir de los datos implícitos de la Act.1, *la reacción se detiene, no hay burbujas*, siguen dos líneas argumentativas, utilizando diferentes pruebas. En la primera línea argumentativa inferimos que utilizan algunas de las pruebas teóricas para confluir en una prueba de 2º nivel, que posteriormente utilizan como prueba articuladas con otras para llegar a la conclusión de 1º nivel, *no hay enzimas libres*, pero no realizan experimentos “mentales” para demostrar su veracidad. Sin embargo, aunque en su discurso parece quedar abandonada, en su informe la incluyen como la causa de la detención de las reacciones. Consideramos que la conclusión de 2º nivel, escrita en su informe, a la que les lleva esta línea, no adecuada al enunciado del problema, ya que si los enzimas están saturados con el sustrato formando el complejo enzima-sustrato, la velocidad será máxima.

En la segunda línea argumentativa llegan a una conclusión de 1º nivel, que comprueban realizando experimentos “mentales”, que ejecutan posteriormente, para llegar a la conclusión de 2º nivel, centrada en la concentración de sustrato. Entendemos que este razonamiento no les lleva a resolver las causas por las que se detienen las reacciones, por tanto, consideramos que la conclusión a la que llegan, *si la cantidad de sustrato es mayor, la reacción será más lenta*, no es adecuada al enunciado del problema.

3ª pregunta de investigación: *¿En qué medida las hipótesis que formulan son pertinentes para resolver el problema?*

La primera hipótesis que formulan Hip.D₁ “*no hay enzimas libres*” no la podemos considerar pertinente para resolver el problema, ya que como indicamos en otras ocasiones, si los enzimas están todos unidos al sustrato (complejo enzima-sustrato) la detención de las reacciones no puede ser posible, a menos que se trate de una inhibición por sustrato que no es el caso, porque

en esta fase del proceso la velocidad es máxima. La segunda hipótesis Hip.D₂ “*si la cantidad de sustrato es mayor, la reacción será más lenta*” estimamos que no responde a la pregunta de la tarea, ya que este grupo enfoca la hipótesis a las velocidades de reacción y no a la detención de dichas reacciones. Por tanto, la Hip.D₂ tampoco es pertinente para la resolver el problema.

4ª pregunta de investigación: *¿En qué medida los estudiantes son capaces de diseñar un experimento para contrastar sus hipótesis?*

Diseñan un experimento para contrastar la Hip.D₂. Para ello, no diseñaron un experimento propiamente dicho (Exp.D₂ “*comparar las reacciones ocurridas en Act.2 y Act.3 con las ocurridas en la Act.1*”) ya que utilizaron la misma experiencia realizada en la Act.1, controlando la variable “cantidad de sustrato”. Consideramos que este experimento es adecuado para contrastar la hipótesis, pero no es adecuado para resolver el problema planteado, ya que no les permite determinar las posibles causas por las que se detienen las reacciones. Por tanto, la indagación llevada a cabo por este grupo es de bajo nivel de calidad ya que no les permite resolver el problema.

5ª pregunta de investigación: *¿Cómo construyen, evalúan y modifican sus modelos?*

Construyen su primer modelo, modelo D₁ “*los enzimas siguen siendo igual, pero sin oxígeno*”, a partir de los datos implícitos de la Act.1, la observación de que las reacciones ocurridas en la Act.1 no tienen burbujas y de la idea alternativa de que el oxígeno desprendido proviene de las muestras (hígado y patata), con el que explican que los enzimas no tienen un cambio químico, ya que se regeneran después de la reacción. Consideramos que las integrantes del grupo son capaces de realizar experimentos mentales para comprobar este modelo, aunque no los expresen verbalmente, ya que lo modifican generando un segundo modelo, modelo D₂ “*no hay enzimas libres*”. Con este modelo consideran que se detienen las reacciones porque todos los enzimas están en forma complejo enzima-sustrato. No realizan experimentos mentales explícitos, ni planifican ni llevan a cabo experimentos para comprobar si es correcto este modelo D₂. Sin embargo, en su informe lo incluyen como causa de la detención de las reacciones.

Construyen un tercer modelo, modelo D₃ “*si la cantidad de sustrato es mayor, la reacción será más lenta*”, para elaborarlo utilizan los datos implícitos de la Act.1, *la reacción se*

detiene, no hay burbujas, además de los datos aportados en la hoja de ayuda. Con este modelo explican que las velocidades de reacción son diferentes según la cantidad de sustrato añadida, y realizan experimentos mentales que llevan a cabo para demostrar que su modelo es correcto. Aceptan el modelo D₃ al no cuestionar su validez ni sus limitaciones, lo que nos indica que no fueron conscientes de que con este modelo no pueden explicar las causas por la que se detienen las reacciones.

Con relación al uso del modelo escolar, indicar que a pesar de no incluir el producto en el modelo expresado/consensuado en el informe, en su discurso sí lo tienen en cuenta, aunque sólo consideren que es el oxígeno lo que se produce en la reacción.

6ª pregunta de investigación: *¿En qué medida los modelos elaborados por los estudiantes permiten explicar la detención de las reacciones enzimáticas?*

Como indicamos en la pregunta anterior, estas alumnas no tuvieron en cuenta la validez ni las limitaciones de sus modelos. Pues si lo hicieran se darían cuenta de que su modelo D₁ podría explicar la detención de las reacciones. Sin embargo, al modificarlo para elaborar el modelo D₂ y no comprobarlo mediante experimentos ni considerar el rango de validez y las limitaciones del mismo, no les permite explicar la detención de las reacciones.

Tampoco percibieron que su modelo D₂ y su modelo D₃ no les permiten resolver el problema, ya que explican: a) modelo D₂, la velocidad máxima de la reacción, y, b) modelo D₃, la diferencia en las velocidades de las reacciones dependiendo de la cantidad de sustrato utilizado.

A la vista de los resultados podemos concluir que las alumnas utilizan de forma incompleta el modelo escolar de la interacción enzima-sustrato, ya que al dar una explicación al por qué se detienen las reacciones se centran en la saturación del enzima con el sustrato y en la diferencia en las velocidades de reacción dependiendo de la cantidad de sustrato utilizada, por lo que les lleva a tener una visión parcial del proceso. Aunque no hay un progreso en el uso del modelo de interacción enzima-sustrato, se aprecia una modificación en su conocimiento de la interacción enzima-sustrato a lo largo de la tarea.

5.5. RESULTADOS DEL GRUPO E

El grupo E está formado por cuatro estudiantes a las que denominamos Elisa, Elsa, Estela y Emilia. Es destacable en este grupo que todas las integrantes participan a partes iguales, se reparten las tareas, se turnan para leer la información aportada en la hoja de ayuda y el guión. Sin embargo, tiene bastantes momentos en los que están fuera de la tarea hablando de temas que no tienen que ver con el problema planteado. En ningún momento tienen disputas por el liderazgo y finalmente son Elsa y Estela las que terminan de redactar los informes.

5.5.1. El proceso de argumentación

Del discurso natural de estas estudiantes interpretamos tres argumentos relevantes para la resolución de la tarea, los cuales representamos en forma de TAP. Asimismo, inferimos las dos líneas argumentativas que siguen para llegar a sus conclusiones finales.

El primer argumento que construyen parte del dato implícito de la Act.1, *la reacción se detiene, no hay burbujas*, cuando observan de los tubos con los productos de las reacciones de la Act.1, lo cual les lleva a formular su primera hipótesis Hip.E₁ “*el tejido está descompuesto*”. Las pruebas a las que apelan para relacionar los datos con la conclusión son de dos tipos: empíricas y teóricas (figura 5.47).

Las pruebas de tipo empírico las aportan a partir de la observación del deterioro de las muestras, que denominan ‘tejido’.

t.131 Estela: *Destruyeron tejido, la patata está tal cual.* [Observación]

Con las pruebas de tipo teórico justifican que: a) los enzimas son tejidos cuya función es ayudar en la descomposición del hígado, el que identifican como ‘chicha’, b) el hígado y la patata son los enzimas, y c) el causante de la descomposición es el ‘agua’.

t.136 Elisa: *A ver, los enzimas son unos tejidos que ayudan a descomponer la chicha.*

t.138 Estela. *O sea, el hígado.*

t.141 Elisa: *Y la patata, esos son los enzimas*

t.150 Elsa: *Se descompone por una cantidad [...]*

t.152.1 Elsa: *[...] (...) de agua [...]*

t.154 Elisa: *Porque ya no hay reactividad.*

Usando estas pruebas concluyen que la reacción se detiene porque el tejido ya está descompuesto:

t.152.2 Elsa: *ese tejido ya está descompuesto, ya no hay más reacción.*

[Hip.E₁]

t.153 Emilia: (...) *no hay más reacción por que el tejido está descompuesto*

[risa]

Entendemos que vinculan la reacción con la integridad física de la muestra de hígado, lo cual coincide con la observación, puesto que la reacción (burbujeo) remite coincidiendo con el deterioro del hígado. Reafirman esta conclusión en unas intervenciones posteriores cuando intentan decidir qué ponen en el informe escrito, como observamos en los siguientes turnos:

t.205 Estela: *Non hai reacción, cando?*

t.206 Elisa: *O tecido está descomposto.*

t.207 Elisa: *O tecido está descomposto.*

Consideramos que las pruebas, con las que justifican la Hip.E₁ “*el tejido está descompuesto*” no son apropiadas, porque indican que los enzimas son los causantes de deteriorar la muestra de hígado (Estela, t.131). Estas alumnas denominan ‘tejidos’ a los enzimas e identifican el hígado, como si fuera “carne”, llamándole ‘chicha’ (Elisa, t.136), es decir, consideran a los enzimas como la muestra entera (Estela, 138 y Elisa, 141), y que es el enzima lo que se descompone en la reacción. Consideramos que este argumento es de baja calidad porque las pruebas utilizadas no son apropiadas, ya que incluyen una idea alternativa al considerar que los enzimas son los causantes de la desintegración de toda la muestra, en lugar de catalizar la descomposición del agua oxigenada (sustrato). Además, es un argumento sencillo al estar formado únicamente por los tres componentes principales.

El TAP con el que representamos este argumento se muestra en la figura 5.44.

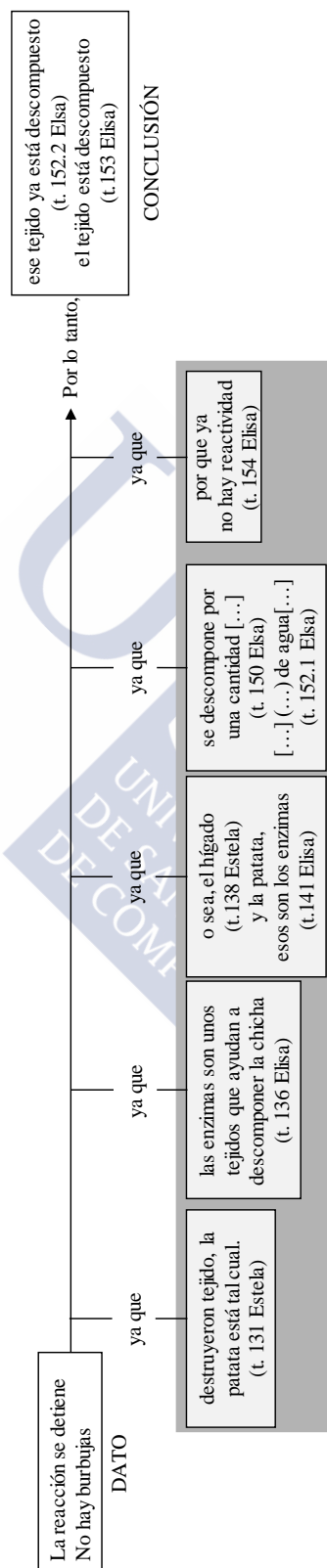


Figura 5.44: Argumento del grupo E en el que exponen su primera hipótesis (H1.E1 “*el tejido está descompuesto*”) sobre las causas de la detención de las reacciones

El segundo argumento que construyen parte de los mismos datos, *la reacción se detiene, no hay burbujas*, sin embargo, apelan a diferentes pruebas para llegar a la conclusión, que consideramos su segunda hipótesis formulada: Hip.E2 “*si hay menos líquido hay más reacción*”, o conclusión de 1^{er} nivel de la 2^a línea argumentativa. Las pruebas que usan para justificar esta hipótesis son tipo teórico, recogidas en la figura 5.47. Elisa (t.121 y t.123), apelando a datos tomados de la tarea, emplea pruebas teóricas al indicar que la velocidad de reacción aumenta con el aumento de la concentración de sustrato porque hay enzima libre para unirse con el sustrato, cuando lo que debería considerar es que hay sustrato disponible para unirse al enzima (está más ocupada, y la reacción vaya más deprisa) y Estela (t.184) justifica que cuanto menos líquido hay (sustrato) la reacción que se produce es mayor, porque hay más cantidad de enzima.

t.121 Elisa: *A ver, a velocidade de reacción aumenta repentinamente. O sea que[...] aumenta, ¿no?[...] co aumento da concentración do sustrato por que abunda a enzima li[...] e dispoñible[...]*

t.123 Elisa: *[...] para unir ao sustrato[...] engadido*

t.184. Estela: *O sea, que cuanto menos líquido hay más [...] cantidad de reacción por [...] hay más cantidad de enzima porque el líquido que es menos [...]*

El problema de estas interpretaciones comienza con la intervención de Estela (t.128) *Conclusión[...]* *que si ahora le echamos más agua tardaría más en[...] hacer algo. [...]* ¿Eh? Ya que, aunque su afirmación es correcta en cierto sentido (el sistema funcionará durante más tiempo si se aumenta la cantidad de sustrato), lo toman por una disminución de velocidad cuando se trata de un aumento de la duración (se supone que a máxima velocidad de reacción). En los turnos t.181 y t.183 Estela parece entenderlo (Estela, t.181) *A velocidade de reacción aumenta repentinamente.* (Estela, t.183) *Aumenta a concentración de sustrato[...]* ¡Aah!, pero en la intervención t.184 de Estela surge el problema, su lógica es clara: si hay poco líquido (sustrato) proporcionalmente hay mucho más enzima, y éste en poco tiempo lo descompone sin darse cuenta que eso no afecta a la velocidad de reacción sino a la duración. Por lo que consideramos que estas pruebas no son apropiadas. En este argumento, representado en la figura 5.45, llegan a la conclusión, *si hay menos líquido (sustrato) hay más reacción.*

t.185 Elisa: *O sea, que si hay menos líquido hay más reacción.*

Sin embargo, no explican el por qué se detienen las reacciones, lo cual es el problema que se les presenta. Por lo que la calidad de este argumento es baja, dado que las pruebas no son apropiadas y la estructura del mismo es sencilla (dato, justificación y conclusión).



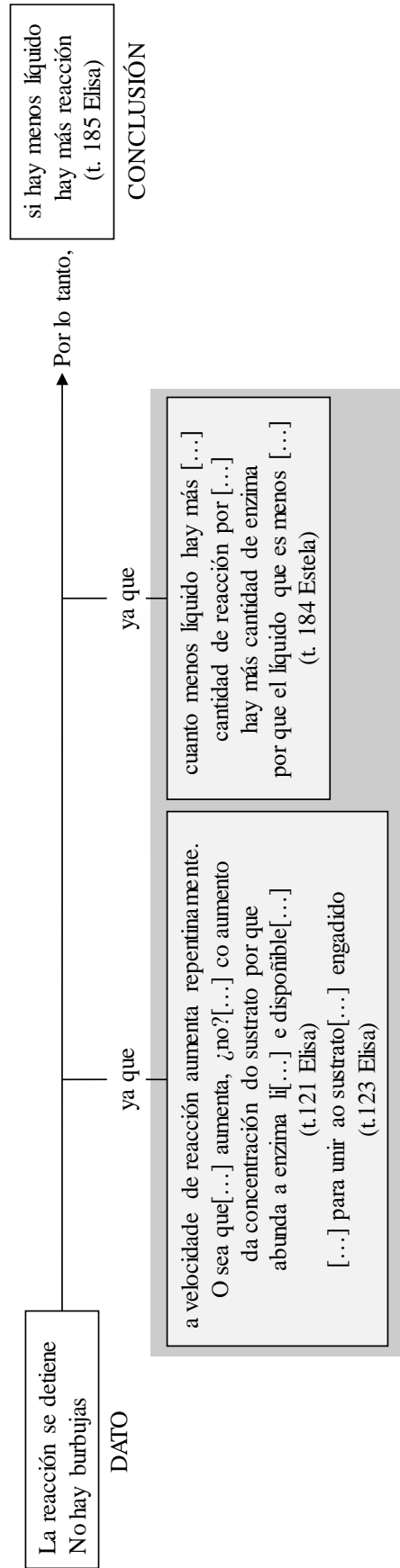


Figura 5.45: Argumento del grupo E en el que exponen su segunda hipótesis (Hip.E₂ “*si hay menos líquido hay más reacción*”) en la que indican que las reacciones dependen de la cantidad de sustrato

El tercer argumento es construido por Elsa cuando trata de explicar la detención de las reacciones mediante una analogía. Así, expone una experiencia personal previa (Elsa, t.219), indicando lo que cree que pasa en la reacción:

t.219 Elsa: *Sí, a ver, (...) no muy altas, [...] imagínate que el sustrato es un vaso de agua, y [...] tenemos una pastilla [...] una pastilla, y la echamos en agua, cuando la pastilla se acaba [...] ya no hay reacción [...]*

El dato al que apela es el dato empírico que procede de la observación de la detención de las reacciones de la Act.1. La justificación que aporta Elsa, para relacionar el dato con la conclusión, consiste en establecer una analogía que es inadecuada, en la que compara la reacción con la efervescencia de una pastilla en agua. Interpretamos que compara la pastilla con el enzima, sin embargo, no tiene en cuenta que mientras la pastilla desaparece al acabarse, el enzima, al que considera la muestra completa, permanece aunque sea deteriorado. Por eso consideramos que aunque inadecuada, esta analogía es válida sólo por la comparación del líquido con líquido, el burbujeo y el sólido con sólido. Observamos que para indicar el grado de certeza que confiere a la justificación, utiliza un calificador modal. Este argumento está representado en la figura 5.46 y con él Elsa trata de justificar la hipótesis Hip.E₁.

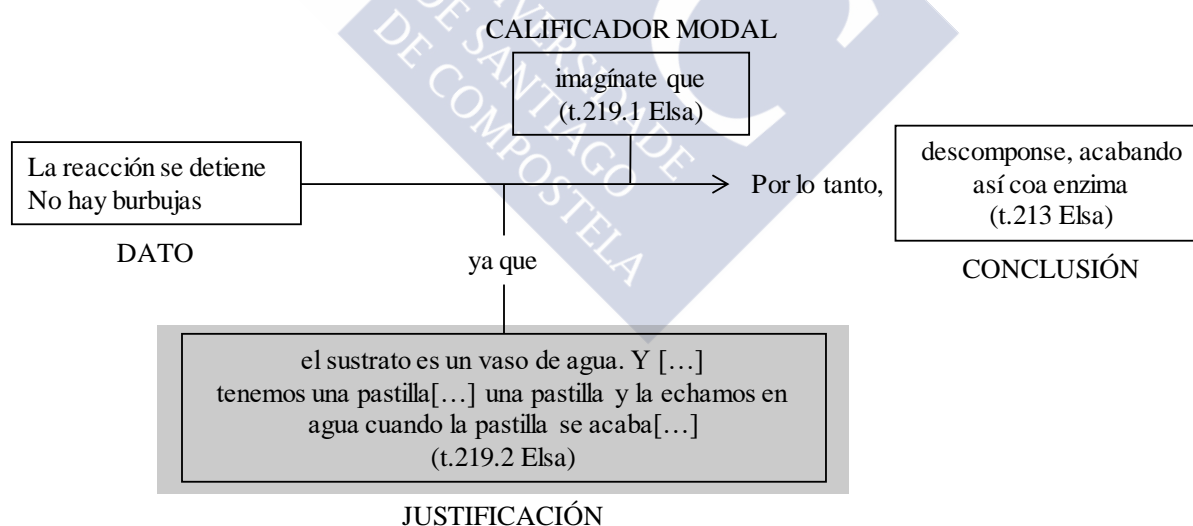


Figura 5.46: Representación del argumento de Elsa en el que expresa, en forma de analogía, la Hip.E₁ “el tejido está descompuesto”.

Consideramos que este argumento es de calidad baja porque las pruebas que aporta Elsa no son apropiadas, aunque desde el punto de vista estructural es un argumento complejo al estar

formado, además de los tres componentes principales, por un calificador modal con el que modula su prueba.

Como se comentó al principio del apartado, analizando el proceso de argumentación inferimos dos líneas argumentativas que siguen las integrantes de este grupo para llegar a sus conclusiones finales. De los tres argumentos relevantes, el primero y el tercero están incluidos en la 1^a línea argumentativa y el segundo pertenece a la 2^a línea argumentativa que siguen. Estas líneas argumentativas se resumen en la figura 5.47 y se analizan a continuación.

La primera línea argumentativa les lleva a formular lo que consideramos su primera hipótesis Hip.E₁ “*el tejido está descompuesto*”, que se corresponde con la conclusión 1^{er} nivel, del argumento que se representa en la figura 5.44. Los datos de los que parten en esta línea son la observación de los tubos con los productos de las reacciones producidas en la Act.1, es decir, observan que no tienen burbujas, por tanto, no hay reacción (dato implícito de la Act.1). Las pruebas que usan para justificar esta hipótesis son de dos tipos: empíricas y teóricas. Apoyándose en las pruebas empíricas de que los tejidos están deteriorados (Estela, t.131) y basándose en las pruebas de tipo teórico, Elisa aporta una justificación para relacionar los datos con sus conclusiones que no es adecuada (Elisa, t.136), puesto que denomina ‘tejidos’ a los enzimas, identifica el hígado como si fuera “carne”, al que denomina ‘chicha’. Con sus pruebas justifican que las reacciones se detienen cuando la muestra está deteriorada. Esta línea argumentativa la consideramos no adecuada para la resolución del problema.

La segunda línea argumentativa se infiere cuando formulan una segunda hipótesis Hip.E₂ “*si hay menos líquido hay más reacción*” que se corresponde con la conclusión 1^{er} nivel, del argumento que se muestra en la figura 5.45. Esta hipótesis surge de los mismos datos, sin embargo, apelan a diferentes pruebas para apoyarla. Las pruebas que usan para justificar esta hipótesis son de tipo teórico. Elisa (t.121 y t.123) emplea estas pruebas (datos tomados de la hoja de ayuda), indicando que la velocidad de reacción aumenta con el aumento de la concentración de sustrato porque hay enzima libre para unirse con el sustrato. Apelando también a pruebas teóricas, Estela (t.184) justifica que cuanto menos líquido hay (sustrato) la reacción que se produce es mayor, porque proporcionalmente hay más cantidad de enzima, por lo tanto consideramos que esta línea argumentativa no es adecuada, puesto que no se enfoca a dar respuesta a las causas por las que se detienen estas reacciones.

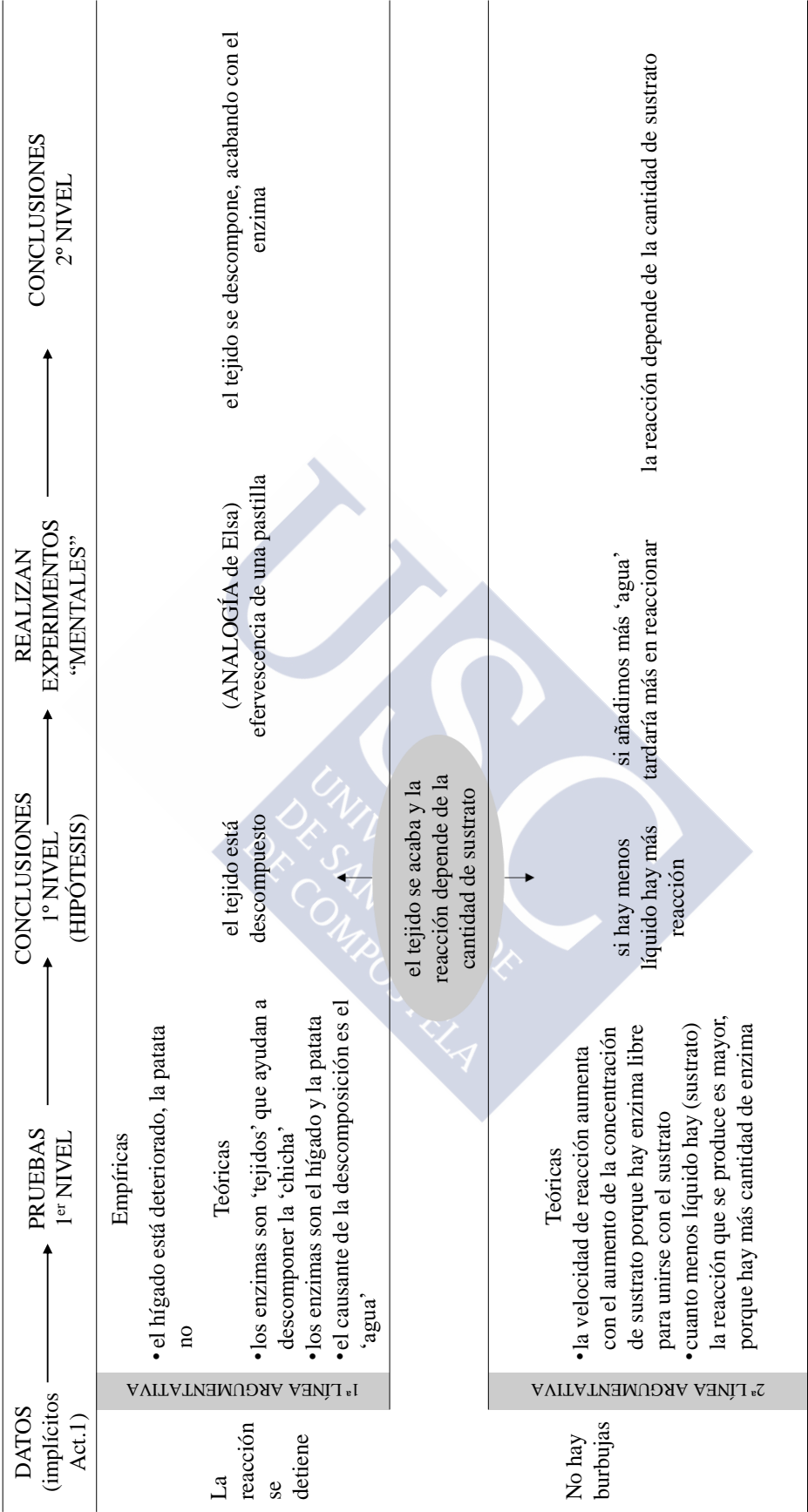


Figura 5.47: Líneas argumentativas del grupo E que les llevan a la conclusión de que el tejido se descompone y la reacción depende de la cantidad de sustrato

Siguiendo con sus razonamientos, las chicas de este grupo discuten sobre lo que van a escribir y deciden incluir sus dos conclusiones de 1^{er} nivel en el informe escrito. Es por ello que representamos la aceptación de las dos conclusiones en la figura 5.47 (forma ovalada), expresada por Elsa en su intervención t.194 “*Primero ponemos lo del tejido de [...] la (...) que se acaba, y luego decimos que también depende de la cantidad de[...]*”.

Estela, encargada de escribir el informe, solicita que le dicten lo que tiene que escribir,

t.210 Estela: *Cando [...]*

t.211 Elisa: *Cando [...] o enzima[...] está[...] descomposto, xa, non?*

t.212 Estela: *Descomponse [...]*

t.213 Elsa: *Descomponse, acabando así coa enzima.* [conclusión de 2º nivel]

t.214 Estela: *[...] descomponse totalmente[...]*

A medida que escriben el informe, Elsa trata de reafirmar las conclusiones a las que llega el grupo (Elsa, t.213) exponiendo una prueba empírica cotidiana mediante el uso de una analogía (Elsa, t.219). Con ella, compara la reacción con la efervescencia de una pastilla en agua. Interpretamos que compara al enzima con una pastilla efervescente que, al disolverse en agua (agua oxigenada) se deshace, lo cual se muestra en el argumento representado en la figura 5.46.

Redactan el informe en el que exponen como causa de la detención de la reacción la descomposición del tejido, “*A reacción finaliza cando o encima descompón o seu tecido totalmente en contacto co substrato*” (informe Act.2, 1^{er} párrafo), llegando a una conclusión de 2º nivel de la 1ª línea argumentativa, *el tejido se descompone, acabando con el enzima*.

Además, deciden incluir en el informe escrito la conclusión a la que llegan siguiendo su 2ª línea argumentativa, *la reacción depende de la cantidad de sustrato*, que consideramos como conclusión de 2º nivel. Llegan a esta conclusión porque el experimento que realizan para comprobar su hipótesis consiste en añadir más agua oxigenada y menos enzima que en la Act.1, complementando así su conclusión, *el tejido se descompone, acabando con el enzima*, indicando:

“*A reacción aumenta ou diminúe dependendo da cantidade de substrato.*

-*Aumenta que cando a cantidade de substrato e semellante (algo maior) o encima.* [informe Act.2, 2º párrafo]

-Cando a diferenza de volúmenes e maior a reacción é máis leve”

Así, este grupo llega a dos conclusiones que no tienen que ver con el problema. Juegan sólo con las velocidades y generalizan que la destrucción (deterioro) de la muestra causa que finalice la reacción. Estudian como influye la cantidad de sustrato, tal vez sospechando que al añadir poco no se deterioraría el hígado. Por todo ello consideramos que ambas líneas argumentativas no son adecuadas y no permiten llegar a la resolución del problema.

5.5.2. El proceso de indagación

En este apartado analizamos cómo el grupo E lleva a cabo los experimentos que les permitan contrastar sus hipótesis. A continuación, se muestra cómo estos estudiantes desarrollan sus experimentos atendiendo a las etapas de investigación indicadas en el proyecto APU (1984) (figura 5.48).

La primera etapa de una investigación consiste en determinar el problema al que se debe dar solución. En este grupo, Elisa establece lo que deben hacer en la actividad (Elisa, t.96) *A ver, realmente hay que decir por qué[...] se paró la reacción en estos días, y hay que hacer un experimento para comprobarlo.* Pero, cuando formulan su primera hipótesis, que se podría interpretar como una posible causa de la detención de las reacciones, ésta es errónea, porque parten del supuesto de que el enzima es toda la muestra y lo denominan ‘tejido’, además, vinculan el deterioro de la muestra de hígado con la detención de la reacción. Consideramos esta primera hipótesis pertinente para el problema propuesto, la cual denominamos:

Hip.E₁ *“el tejido está descompuesto”*

Retomando la información de la hoja de ayuda establecen una segunda que incluye la cinética enzimática y la concentración de sustrato, interpretando que si hay poco líquido en proporción a la cantidad de enzima la velocidad de reacción será mayor. Consideramos que esta hipótesis no es adecuada para resolver el problema planteado, y la denominamos:

Hip.E₂ *“si hay menos líquido hay más reacción”*

La planificación de experimentos que hacen es para la segunda hipótesis. No diseñan ningún experimento para comprobar la primera hipótesis.

Así, para comprobar su hipótesis sobre la intensidad de la reacción (Hip.E₂), deciden utilizar la misma prueba experimental que habían realizado en la Act.1, con una pequeña

modificación, que consiste en añadir más cantidad de sustrato a las muestras que contienen enzima, con el fin de comparar la intensidad de las reacciones que se produzcan con las que se produjeron en la sesión anterior,

t.324 Emilia: *Hay que hacer lo del otro día, creo.*

t.325 Estela: *Pero con más agua.*

A este diseño experimental lo denominamos,

Exp.E₂ “*Introducir una cantidad mayor de agua oxigenada en una muestra con una porción menor de enzima (hígado y patata) que en la experiencia de la Act.1*”

No obstante, consideramos que dicho experimento no es realmente diseñado por ellas, puesto que se esperaba de las alumnas que elaboraran una prueba experimental diferente a lo realizado en la Act.1. De modo que lo único que hicieron fue una modificación de la primera actividad controlando las variables “cantidad de agua oxigenada” y “cantidad de muestra con enzima”, que interviene en la velocidad de la reacción. Estas alumnas pretenden controlar dichas variables a partir de lo indicado en su informe “*No experimento anterior a cantidade de figado era maior, e a cantidade de auga menor*” (informe Act.3, 1^{er} párrafo).

En la realización de este experimento modifican simultáneamente ambas variables independientes, “cantidad de enzima” y “cantidad de sustrato”, lo que supone un problema de control de variables en la línea de lo señalado por Shayer y Adey (1984) atribuible al estadio 2B concreto avanzado del desarrollo de esquemas de pensamiento.

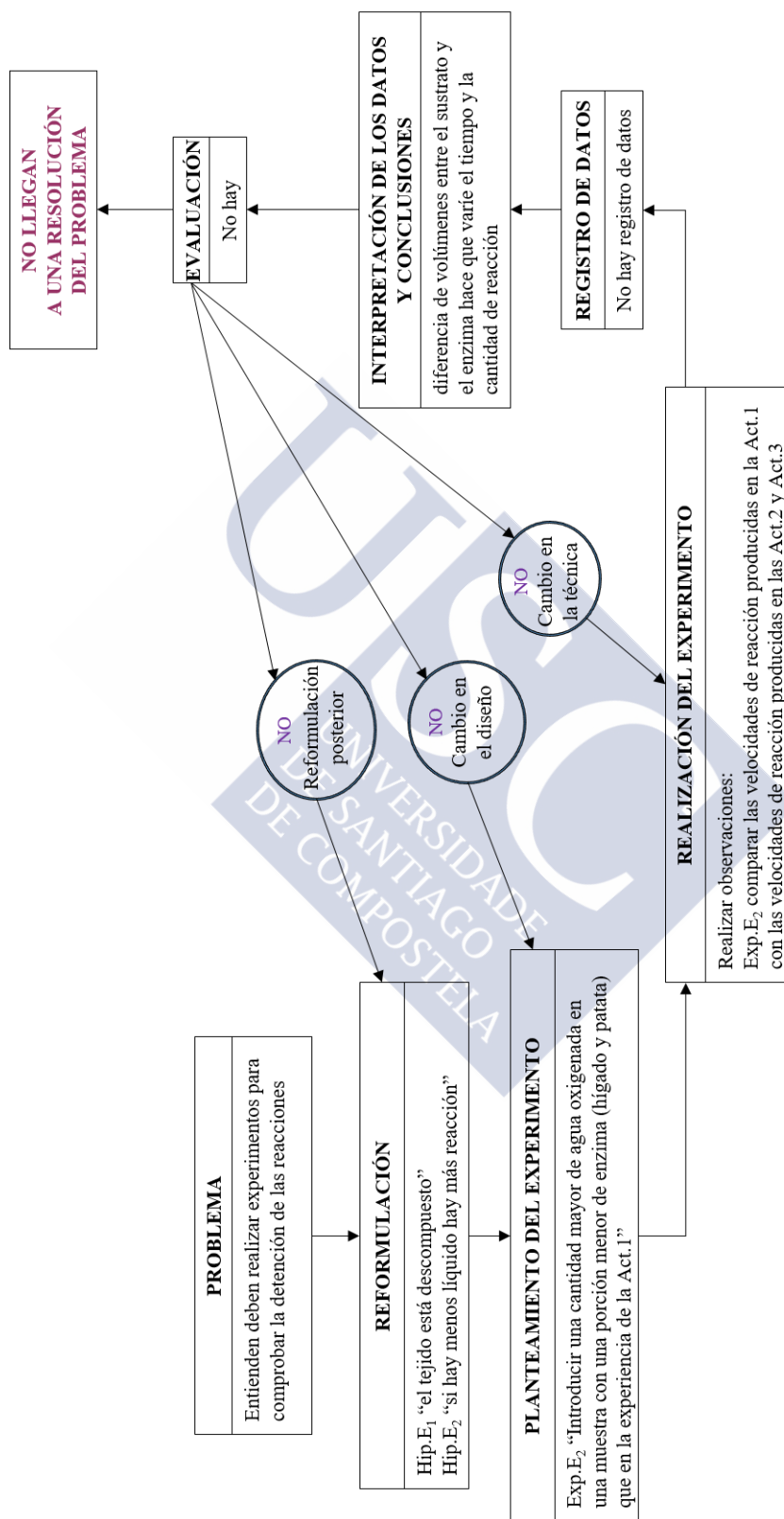


Figura 5.48: Representación del proceso de indagación del grupo E para la resolución del problema interpretado a partir de las etapas de investigación del proyecto APU (1984)

Comienzan a realizar su experimento repartiendo el agua oxigenada en dos tubos, en uno de ellos, introducen la muestra de hígado y en el otro, la de patata. Los datos que obtienen son a partir de observaciones, en las que estiman las diferencias entre las velocidades de reacción de las muestras (figura 5.49), aunque esto no lo hacen explícito en ningún momento, pues en el diseño experimental no indican ni qué datos ni cómo los van a recoger.

t.374 Emilia: *Yo creo que más rápida la patata, ¡eh!*

t.375 Elsa: *Y hígado no reacciona, ¡vaya mierda!*

t.376 Elisa: *Porque hay mucho agua.*

t.379 Emilia: *Piensa que aquí hay espumita. ¡Eh!*

t.380 Elsa: *No, pero es que es menos hígado.*

t.381 Emilia: *Es que no es[...]*

t.382 Estela: *Y más agua.*

t.383 Emilia: *[...] es mucho menos hígado.*

t.384 Estela: *Mucho menos hígado y más agua.*

Una vez realizado el experimento, interpretan los resultados observados. Así, en el experimento con la patata, no dudan de que sí se produce reacción, puesto que observan la producción de burbujas inmediatamente al introducir la patata (nueva) en agua oxigenada. Sin embargo, en el experimento con el hígado interpretan que no se produce reacción (Elsa, t.375), porque tarda un poco más en reaccionar al contacto del enzima con el sustrato, ante lo cual interpretan que no se produce reacción porque echaron mucha “agua”, pero Emilia hace referencia a la aparición de espuma para indicar que hay reacción (Emilia, t.379).

Estela intenta establecer qué es lo que deben realizar en ese momento de la actividad (Estela, t.395) “[...]o sea aquí es donde (...) y todo el rollo, entonces aquí hay que ver si es cierto o no. [...] y es cierto, ¿no? ¿La patata cómo va?”. Emilia responde indicando que va más rápido (Emilia, t.396) “*Más rápido*”, lo cual lleva a Elsa a justificar su conclusión indicando que la diferencia de volúmenes afecta a la velocidad de reacción. Además, es en este momento en que Elsa retoma la propuesta hecha por Elisa (Elisa, t.98) *Yo creo que es por el [...] paso del día [...]*, pues cuando Elsa compara los tubos de la Act.1, en los que ya no hay reacción, con los experimentos realizados en esta sesión, los cuales aún están reaccionando, ven que el tiempo es un factor a considerar para indicar por qué se detienen las reacciones, no obstante, con esto no explican el mecanismo causal de la detención de las reacciones.

t.397 Elsa: *Sí, a ver, es cierto que hay la diferencia de volúmenes [...]*

t.398 Estela: *Mira la patata.*

t.399 Elsa: *[...] es cierto, la diferencia de volúmenes, y también es cierto que, con el paso del tiempo, esta se acaba, porque aquí hay y aquí no.* [Observación]

t.400 Elisa: *¡Ves!*

t.401 Emilia: *Es lógico, ahí hay y ahí no.*

t.402 Elsa: *¡Claro! Aquí está reaccionando y aquí ya no hay reacción.* [Conclusión]

En el momento de redactar el informe comparan las cantidades de enzima y sustrato empleadas en la Act.1 con las cantidades que emplearon en su experimento.

t.404 Elsa: *Primero dices lo de la diferencia de volúmenes, es que tenemos la cantidad de hígado [...]*

t.405 Emilia: *Que de la otra vez le habíamos echado mu-cho menos hígado.*

t.406 Elisa: *Mucho más.*

t.407 Elsa: *Mucho más[...] ¡Eh! Podemos poner, [...] en el experimento anterior [...]*

t.409 Elsa: *[...] la cantidad de hígado, no sé[...] la cantidad de [...]*

t.410 Elisa: *A ver, qué esta vez echamos menos cantidad de hígado [...]*

t.411 Elsa: *No, pero no, no podemos poner así.*

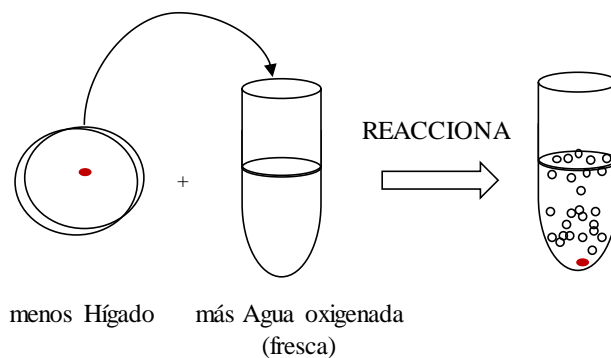
t.412 Estela: *Y ¿Cómo quieres ponerle?*

t.413 Elsa: *¡Eeeh! Era maior e a cantidade de auga menor [...]*

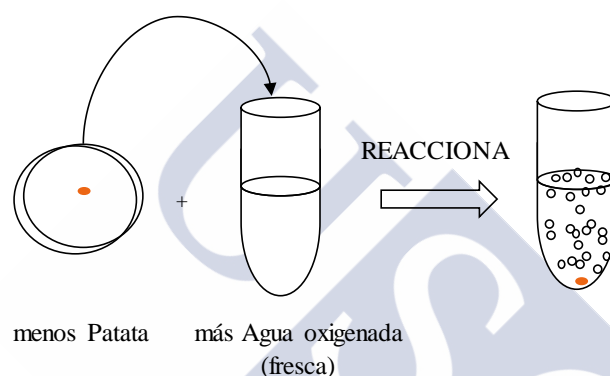
t.414 Elsa: *[...] e agora, o contrario [...]*

t.416 Elsa: *[...] por tanto, a súa reacción é menor.*

Esto les lleva a la conclusión de que al añadir una cantidad mayor de agua oxigenada y una menor de hígado se produce menos reacción que, si la cantidad de hígado es mayor y la de agua oxigenada menor, aunque ellas se refieren simplemente con el nombre de ‘agua’. Pese que son capaces de llegar a esta conclusión, no comprenden la interacción enzima-sustrato, por lo que no son capaces de detallar el por qué se detiene la reacción.



- a) Procedimiento del experimento realizado por el grupo E para comprobar “que a diferenca dos volúmenen entre o substrato e o encima fai variar o tempo de reacción e a cantidade” (informe Act.3, 2º párrafo)



- b) Procedimiento del experimento realizado por el grupo E para comprobar “que a diferenca dos volúmenen entre o substrato e o encima fai variar o tempo de reacción e a cantidade” (informe Act.3, 2º párrafo)

Figura 5.49: Procedimiento de los experimentos realizados por el grupo E: a) Act.2 “¿Por qué paró la reacción con el hígado?” y b) Act.3 “¿Por qué paró la reacción con la patata?”

Durante la redacción del informe, Estela pregunta qué más incluye (Estela, t.459) *¿Qué pongo? Que la[...] o fígado[...]*, momento en que Emilia indica (Emilia, t.460) *Reacciona menos que a pataca*. Sin embargo, anteriormente habían interpretado que el hígado no había reaccionado.

Elsa quiere que se profundice más en las conclusiones, por lo que contradice a Emilia e indica que deben incluir en el informe algo relacionado con la diferencia de la cantidad de reactivos utilizados (Elsa, t. 461) *No, eso no es cierto. (...) Ahora hay que decir la diferencia entre esto[...]*. A lo que Emilia añade (Emilia, t.462) *¡Ah! Es que estos[...] que os de[...] o outro día xa pararon de reaccionar[...] e os de hoxe aínda siguen reaccionando*. Por tanto, la conclusión a la que llegan es que la diferencia de volúmenes entre el sustrato y el enzima hace

que varíe el tiempo y la intensidad de reacción, como indican Estela y Elsa, y Estela además añade, que reacciona menos.

t.472 Estela: *Con esto comprobamos que a diferencia dos volúmenes entre o sustrato e a enzima depende do tempo de reacción e a cantidade. ¿No?*

t.473 Estela: *O sea, [...] e reacciona me-nos.*

t.474 Elsa: (...) *Ya, pero hay que decir que o trascurso do tempo fai que esta reacción[...] Por eso as que acabamos de facer agora, está reaccionando[...] e as que fixemos no[...] anterior[...]*

Así lo escriben en su informe, “*Con isto comprobamos que a diferencia dos volúmenes entre o substrato e o encima fai variar o tempo de reacción e a cantidade*” (informe Act.3, 2º párrafo).

En resumen, el proceso de investigación o indagación que sigue este grupo presenta algunas carencias, pues en ningún momento evalúan los resultados que obtienen ni los métodos que utilizan. Esto les lleva a unas conclusiones que no les permiten explicar las causas por las que se detienen las reacciones. Simplemente observan que las reacciones producidas en la Act.1 están detenidas, mientras que las que acaban de realizar siguen reaccionando, como exponen en el informe, “*Os experimentos recién realizados aun están reaccionando ante o contacto, mentres que o antigo experimento parou de reaccionar totalmente*” (informe Act.3, 3º párrafo). Tampoco indican una conclusión con relación a la Hip.E₁ “*el tejido está descompuesto*”.

Por todo lo expuesto, consideramos que la calidad del proceso de indagación es baja, pues el experimento que plantean es una pequeña modificación de la experiencia de la Act. 1, lo cual realizan para contrastar una hipótesis que no es pertinente para el enunciado del problema.

5.5.3. El proceso de modelización

Finalmente analizamos el proceso de modelización y como herramienta de análisis utilizamos el MMD en el cual representamos los pasos que sigue el grupo E en el proceso de construcción del modelo enzimático (figura 5.50).



Figura 5.50: Proceso de modelización del grupo E mientras realizan la actividad

Como ya ha sido comentado, estas alumnas comprenden el objetivo de la tarea, entienden que deben explicar las causas por las que se detienen las reacciones enzimáticas, como expone Elisa (Elisa, t.96) *A ver, realmente hay que decir por qué [...] se paró la reacción en estos días, y hay que hacer un experimento para comprobarlo.* No obstante, como se indica a continuación, estas alumnas van modificando la percepción que tienen del problema, lo que concluye en una explicación sobre la velocidad de la reacción en lugar de la detención de las reacciones.

Las experiencias previas que tienen con la actividad enzimática, proceden de la realización de la Act.1 “*Acción catalítica de los enzimas*”, en la cual debían estimar las velocidades de reacción producidas al añadir muestras de enzima catalasa en tubos de ensayo con agua oxigenada. Para describir el objeto a modelar necesitan, como indican Justi y Gilbert (2002), seleccionar aspectos de la realidad que les permitan dicha selección. En este grupo son 1) la observación de las reacciones, 2) que se detienen después de un tiempo, 3) deterioro de la muestras de hígado y de patata, todos ellos datos empíricos y 4) la interpretación de los datos aportados en la hoja de ayuda referentes a la actuación de los enzimas y sus propiedades (datos teóricos).

Interpretamos que cada integrante del grupo elabora *modelos mentales*, ya que los explicitan verbalmente, transformándolos en *modelos expresados*, como el modelo expresado por Estela (Estela, t.184) *O sea, que cuanto menos líquido hay más [...] cantidad de reacción por [...] hay más cantidad de enzima porque el líquido que es menos [...]*. Cuando llegan a un acuerdo, de sus modelos expresados, podemos considerar que elaboran los *modelos consensuados*, que se comentan a continuación.

Para justificar su primer modelo consensuado se fundamentan en los datos empíricos: a) las reacciones paran; b) el tejido se descompone (interpretación de que las reacciones se paran cuando se deterioran las muestras). Identificamos el modelo expresado por dos componentes del grupo (Elisa y Elsa),

t.136 Elisa: *A ver, los enzimas son unos tejidos que ayudan a descomponer la chicha.*

t.152 Elsa: *[...] (...) de agua [...] y una vez que [...] ese tejido ya está descompuesto, ya no hay más reacción. (...)*

que denominamos modelo E₁ “*el tejido se descompone*”, el cual interpretamos a partir de su argumento representado en la figura 5.44, este modelo implica la detención de la reacción debido a que el enzima se agota. No obstante, la idea que tienen de los enzimas es errónea, para ellas el enzima es toda la muestra y lo denominan ‘tejido’, además, consideran que el motivo de que se detengan las reacciones está producido por el deterioro de las muestras.

Tanto Estela como Elisa consideran que este modelo está incompleto por lo que lo modifican elaborando un segundo modelo, que denominamos modelo E₂ “*la reacción depende de la cantidad de sustrato*” (si hay menos líquido hay más intensidad de reacción). Este modelo lo interpretamos a partir del argumento representado en la figura 5.45, en el cual para justificar su conclusión emplean los datos empíricos (observación de la detención de las reacciones porque no hay burbujas) y los datos tomados de la tarea (aumento de la concentración de sustrato),

t.121 Elisa: *A ver, a velocidade de reacción aumenta repentinamente. O sea que[...] aumenta, ¿no?[...] co aumento da concentración do sustrato por que abunda a enzima li[...] e dispoñible[...]*

t.123 Elisa: *[...] para unir ao sustrato[...] engadido*

Estela explica las diferencias en las reacciones enzimáticas comparando la cantidad de sustrato con la cantidad de reacción, es decir, justifica que cuanto menos líquido hay (sustrato) la reacción que se produce es más intensa, porque hay más cantidad de enzima, (Estela, t.184) *O sea, que cuanto menos líquido hay más [...] cantidad de reacción por [...] hay más cantidad de enzima porque el líquido que es menos [...]*. A partir de lo cual Elisa concluye que si hay menos líquido la intensidad de la reacción es mayor (Elisa, t.185) *O sea, que si hay menos líquido hay más reacción*, sin darse cuenta que influye en la duración y no en la velocidad de reacción.

Un aspecto interesante de este grupo es que, para justificar su conclusión (Elsa, t.213) *Descomponse, acabando así coa enzima*, Elsa hace una selección de situaciones cotidianas con las que establece un modelo analógico. Esto concuerda con lo indicado por Justi (2006): “*Simultáneamente a la organización de estas experiencias (con relación al objeto a modelar) en la mente del individuo, tiene lugar la selección de los aspectos de la realidad que se usarán para describir el “objeto” a modelar*” (p. 177). Este modelo analógico, que denominamos modelo E₃ “*analogía de Elsa*”, lo interpretamos a partir de su argumento representado en la

figura 5.46.

t.219 Elsa: *Sí, a ver, (...) no muy altas, [...] imagínate que el sustrato es un vaso de agua, y [...] tenemos una pastilla [...] una pastilla, y la echamos en agua, cuando la pastilla se acaba [...] ya no hay reacción [...]*

Comparando los elementos del modelo escolar con los elementos del modelo analógico de Elsa, que se muestra en la figura 5.51, entendemos que el agua corresponde al sustrato (comparación de líquido con líquido), la pastilla al enzima (comparación de sólido con sólido, hígado/patata) y cuando dice “ya no hay reacción” (ya no hay burbujeo), se refiere a que se detiene la reacción, centrándose en aspectos macroscópicos.

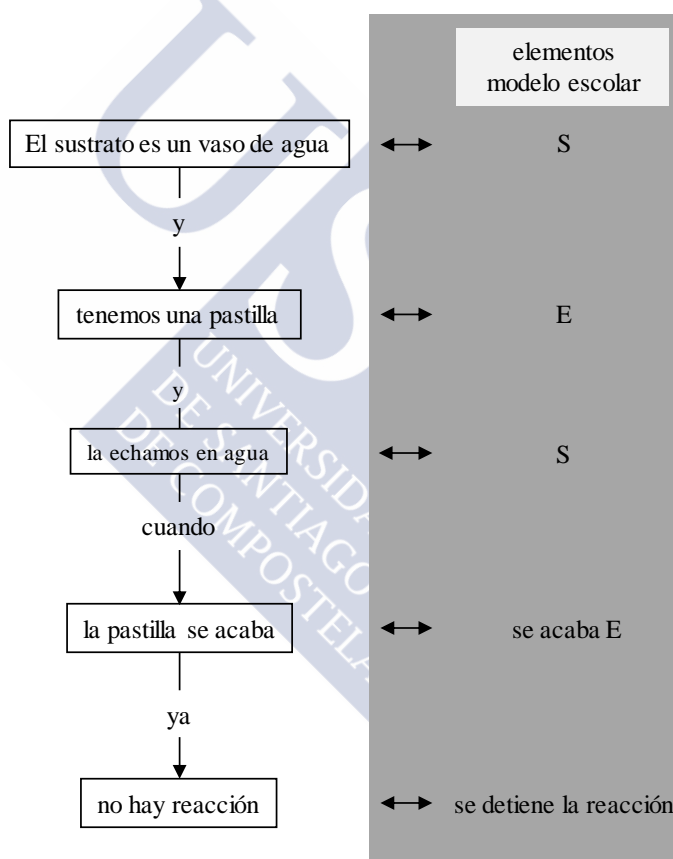


Figura 5.51: Comparación de los elementos del modelo escolar con el modelo E₃ “analogía de Elsa”, expresado por Elsa en su intervención t.219.

Con esta analogía podemos interpretar, que Elsa lleva a cabo experimentos mentales, ya que describe lo que piensa que está pasando con las muestras en el agua oxigenada. Consideramos que este modelo analógico es una modificación del primer modelo E₁ “el tejido se descompone” y aunque interpretamos que la pastilla es el enzima, puede que ella no lo tenga

tan claro y compare la pastilla con la muestra animal (hígado). Un aspecto negativo de esta analogía es la comparación de la pastilla con el enzima, mientras la pastilla desaparece, la muestra de hígado se deteriora, pero no desaparece, aunque ella considere que la descomposición provoque que el enzima se acabe, como dice en su intervención (Elsa, t.213) “*Descomponse, acabando así coa enzima*”.

Así identificamos dos modelos consensuados:

modelo E₁ “*El tejido se descompone*”

modelo E₂ “*La reacción depende de la cantidad de sustrato*”

Y un modelo analógico expresado por Elsa (t.219):

modelo E₃ “*Analogía de Elsa*”

Los resultados que obtienen de su experimento, Exp.E₂ “*Introducir una cantidad mayor de agua oxigenada en una muestra con una porción menor de enzima (hígado y patata) que en la experiencia de la Act.1*”, no les permiten demostrar la detención de las reacciones, de modo que no llegan a resolver el problema. Consideramos que esto ocurre porque la percepción que tienen del problema no concuerda con lo planteado en la tarea.

No alcanzan los objetivos de la actividad, ya que no consideran el rango de validez ni las limitaciones de su modelo, al no realizar ninguna prueba para comprobar si sus modelos dan una explicación al porque se detienen las reacciones. Por tanto, no llegan a determinar ninguna de las posibles causas por las que se produce la detención de las reacciones ocurridas en la Act.1 “*Acción catalítica de los enzimas*”.

Cuando analizamos el uso del modelo en su informe escrito, interpretamos que emplean como modelo consensuado el modelo E₁ “*el tejido se descompone*”, puesto que para integrarlo en el informe deben estar de acuerdo todos los componentes del grupo. Con este modelo indican que las causas por las cuales se detienen las reacciones son debidas a que el enzima, que consideran ‘tejido’, se descompone a sí mismo en la reacción cuando entra en contacto con el sustrato, y la descomposición total provoca la detención de la misma “*A reacción finaliza cando o encima descomponse o seu tecido totalmente en contacto co substrato*” (informe Act.2, 1º párrafo). Además, cuando escriben el informe elaboran, como complemento a su modelo sobre la descomposición del ‘tejido’, su segundo *modelo consensuado*, el modelo E₂

“la reacción depende de la cantidad de substrato”, representado la figura 5.52.

“A reação aumenta ou diminui dependendo da quantidade do substrato.

- Aumenta que cando a quantidade de substrato e semellante (algo maior) o encima. [informe Act.2, 2º párrafo]

- Cando a diferenza de volúmenes e maior a reacción é mais leve”

En general, se comprueba que el grupo es capaz de elaborar modelos, así elaboran el modelo E₁ y cuando realizan experimentos mentales y consideran que el resultado no es correcto, elaboran un segundo modelo, modelo E₂, que complementa al modelo E₁. Además, una estudiante, Elsa, elabora un modelo analógico como explicación al modelo E₁, utilizando aspectos conocidos de la realidad.

En la figura 5.52 se representan los modelos elaborados por el grupo y su correspondencia con el modelo escolar. De este modo comprobamos que el modelo E₁ “*el tejido se descompone*” y el analógico E₃ “*analogía de Elsa*” guardan cierto parecido con el modelo escolar, salvo que las alumnas consideran que se descompone el enzima en lugar de recuperarse al finalizar la reacción. En cuanto al modelo E₂ “*la reacción depende de la cantidad de substrato*” no contempla la causa por la que se detienen las reacciones, ya que con el modelo E₂ explican las diferencias en la velocidad de reacción.

Observamos que durante el proceso de modelización, la construcción del modelo se va alejando del referencial, por lo que no se aprecia un progreso en el uso del modelo, lo cual no les permite dar una explicación al problema. No obstante, el modelo analógico construido por Elsa se asemeja bastante al referencial.

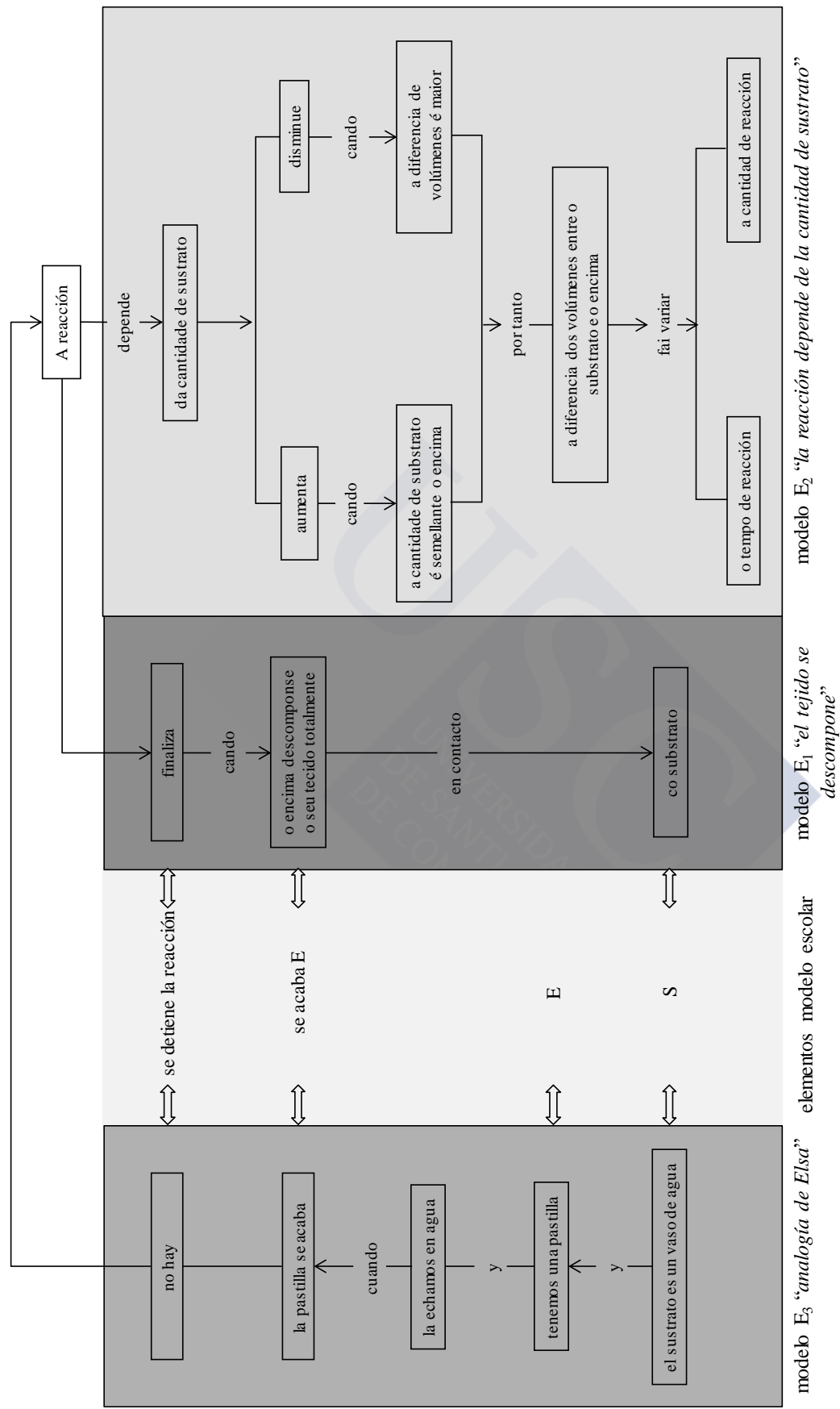


Figura 5.52: Representación de los modelos elaborados por el grupo E

5.5.4. Discusión y conclusiones parciales del grupo E

Después de analizar los tres procesos de argumentación, indagación y modelización y obtener los resultados del grupo E, respondemos a las preguntas de investigación planteadas.

1ª pregunta de investigación: *¿Cuál es la calidad de los argumentos que emplean los estudiantes en la resolución del problema?*

En este grupo se reconstruyen tres argumentos esenciales para el análisis de la argumentación. En su primer argumento, en el que llegan a la conclusión de que el “*tejido está descompuesto*”, observamos que utilizan dos tipos de pruebas para justificar los datos: pruebas empíricas, obtenidas de la observación del deterioro de la muestra de hígado, y pruebas teóricas con las que consideran que las muestras (hígado y patata) son los enzimas que denominan ‘tejidos’ y que son los causantes, junto con el ‘agua’, del deterioro observado, vinculando la detención de las reacciones con el deterioro de las muestras. Por tanto, consideramos que esta prueba teórica no es apropiada ya que el enzima catalasa no es un tejido, sino que está contenido en el tejido, tanto animal (hígado) como vegetal (patata). En su segundo argumento, las pruebas que aportan para llegar a su segunda conclusión, “*la reacción depende de la cantidad de sustrato*”, tampoco son apropiadas, pues no justifican la detención de las reacciones. En su tercer argumento, Elsa explica la detención de la reacción mediante una analogía, en la que compara los reactivos implicados en la descomposición del agua oxigenada catalizada por el enzima catalasa con un vaso de agua [sustrato] y una pastilla efervescente [enzima], consideramos que esta analogía es más útil que apropiada, por ello consideramos que las pruebas que utiliza en esta analogía no son apropiadas por los aspectos negativos (según Glynn, Britton, Semrud-Clikeman, y Muth., 1989 y Harrison, 2008) ya que la pastilla desaparece y el hígado se deteriora, pero el enzima permanece funcional.

En resumen, los tres argumentos inferidos son de calidad baja. En el análisis del proceso de argumentación observamos que: a) ninguno de los tres argumentos reconstruidos aportan pruebas apropiadas, b) Elsa utiliza una analogía para explicar su argumento a favor del motivo por el que cree que se detienen las reacciones, utilizando experiencias de la realidad, en la que usa un calificador modal para expresar la fuerza que le confiere a la justificación, c) no contraargumentan ningún argumento propuesto por otro estudiante y d) no refutan las conclusiones de sus compañeras. Lo cual, siguiendo a Osborne et al. (2001), pone de manifiesto la escasa calidad de argumentación de este grupo. Las integrantes del grupo se

muestran conformes con lo expuesto por sus compañeros, y una consecuencia de ello, puede ser el hecho de que no tengan que demostrar por qué sus razonamientos son correctos, de modo que la argumentación, como proceso de persuasión, no juega un papel esencial para dar con la resolución del problema planteado.

2ª pregunta de investigación: *¿En qué medida las líneas argumentativas les llevan a conclusiones acordes con el enunciado del problema?*

Al establecer las líneas argumentativas, observamos que de los datos (implícitos en la 1ª tarea) les llevan a seguir dos líneas argumentativas que les llevan a conclusiones de 1^{er} nivel, las cuales son analizadas mentalmente para llegar a la siguiente conclusión [2º nivel]. La conclusión de 2º nivel, *el tejido se descompone, acabando con el enzima*, correspondiente a la 1ª línea argumentativa, es coherente con el enunciado problema planteado porque sigue un razonamiento encaminado a la determinación de las causas de la detención de las reacciones. No obstante, las pruebas con las que justifican su conclusión son inapropiadas al considerar al enzima como tejido que ayuda a provocar su descomposición cuando contacta con el sustrato. Por tanto, consideramos que esta línea argumentativa es no adecuada. Siguiendo su segunda línea argumentativa, consideramos que su conclusión de 2º nivel, *la reacción depende de la cantidad de sustrato*, no es adecuada al no ser coherente con el enunciado del problema, porque no les lleva a determinar las causas por las que se detienen las reacciones.

3ª pregunta de investigación: *¿En qué medida las hipótesis que formulan son pertinentes para resolver el problema?*

Los datos implícitos en la Act.1 y las pruebas aportadas para sus conclusiones les llevan a formular dos hipótesis. La primera hipótesis que formulan Hip.E₁ “*el tejido está descompuesto*” la podemos considerar pertinente para el problema planteado, ya que podría ser una posible causa de la detención de las reacciones. Sin embargo, engloba una idea errónea, como ya se comentó anteriormente, ya que vinculan la descomposición del enzima que denominan ‘tejido’ con la detención de la reacción, posiblemente debido a que coincide la detención con el deterioro de las muestras. Además, consideran que las muestras (hígado y patata) son los enzimas, y no que los enzimas están contenidos en dichas muestras. La segunda hipótesis que formulan, Hip.E₂ “*si hay menos líquido hay más reacción*”, no es pertinente con la tarea propuesta ya que no responde a la pregunta sobre la detención de las reacciones, esta hipótesis está relacionada con la cinética de las reacciones enzimáticas, con la velocidad de

las reacciones y no con su detención. Por tanto, ninguna de las hipótesis está encaminada a dar una respuesta a por qué se detienen las reacciones.

4ª pregunta de investigación: *¿En qué medida los estudiantes son capaces de diseñar un experimento para contrastar sus hipótesis?*

De las dos hipótesis que formulan sólo proponen un diseño experimental para poner a prueba la segunda hipótesis Hip.E2 “*si hay menos líquido hay más reacción*”. El experimento que realizan no requirió un diseño propiamente dicho, pues simplemente modifican la experiencia de la Act.1, controlando las variables independientes “cantidad de agua oxigenada” y “cantidad de muestra con enzima” simultáneamente, variando las cantidades de reactivos utilizados para comparar las reacciones producidas al realizar su Exp.E2 con la experiencia de la Act.1. Esto supone un problema de control de variables, por lo que consideramos que, según el desarrollo de esquemas de pensamiento (Shayer y Adey (1984), este grupo está en el estadio 2B concreto avanzado. Sin embargo, aunque el experimento sea adecuado para comprobar la hipótesis Hip.E2 es poco adecuado para la resolución del problema que les planteamos, ya que los resultados que obtienen al realizar este experimento no les permite determinar las posibles causas de la detención de las reacciones. A pesar de todo, consideran que el resultado es el correcto, y en ningún momento se plantean que podrían realizar otro tipo de experimento utilizando los productos de las reacciones de la Act.1 “*Acción catalítica de los enzimas*”. Por ello, concluimos que la calidad del proceso de indagación es baja.

5ª pregunta de investigación: *¿Cómo construyen, evalúan y modifican sus modelos?*

La construcción de su primer modelo E1 “*el tejido se descompone*” tiene lugar a partir de los datos implícitos en la Act.1, es decir, de la observación de que las reacciones ocurridas en dicha actividad están paradas y de la observación del deterioro de las muestras. Observamos que las integrantes del grupo son capaces de llevar a cabo experimentos mentales para comprobar si su modelo consensuado es adecuado, y cuando consideran el resultado incorrecto modifican ese modelo, como en el caso de Estela y Elisa, que consideran que el modelo E1 “*el tejido se descompone*” no es completo, por lo que, utilizando datos de la hoja de ayuda, lo modifican estableciendo el modelo E2 “*la reacción depende de la cantidad de sustrato*”. Consideramos que esta modificación, aunque no les permita llegar a resolver el problema, sí les permite modificar el conocimiento de las reacciones enzimáticas, ya que, al estimar que

sus experimentos mentales no permiten dar una respuesta correcta, recurren a la información aportada para completarlo, elaborando así, el modelo E₂.

Además, una de las integrantes del grupo, Elsa, construye un modelo analógico (modelo E₃) en el que utilizan aspectos de la realidad para explicar el “objeto” a modelar (Justi, 2006), es decir, para enfatizar su primer modelo consensuado, modelo E₁ “*el tejido se descompone*”.

Después de llevar a cabo su prueba experimental para contrastar sus hipótesis, observamos que no descartan ninguno de los modelos que usan, lo que nos indica, que no tuvieron en cuenta que sus modelos no explican el por qué se detienen las reacciones, es decir, no consideraron la validez ni las limitaciones de sus modelos.

6^a pregunta de investigación: *¿En qué medida los modelos elaborados por los estudiantes permiten explicar la detención de las reacciones enzimáticas?*

Como indicamos en el ítem anterior, consideramos que estas alumnas no desechan ninguno de los dos modelos, lo cual nos da una idea de que no han tenido en cuenta las limitaciones de los modelos para dar respuesta al problema propuesto, pues de haberlo hecho, se hubieran percatado de que el modelo E₁ “*el tejido se descompone*”, aunque no sea muy adecuado, sí les podría llevar a generar una explicación al porqué de la detención de las reacciones. En el caso del segundo modelo E₂ “*la reacción depende de la cantidad de sustrato*”, lo hubiesen descartado pues con él sólo están explicando la velocidad de reacción, como variable de la cinética enzimática, pero con ello no explican si las reacciones se detienen y por qué.

A la vista de los resultados, podemos concluir que las alumnas utilizan de forma incompleta el modelo escolar de la interacción enzima-sustrato, ya que al dar una explicación al por qué se detienen las reacciones se centran mayoritariamente en la cantidad de sustrato y en la diferencia en las velocidades de reacción, por lo que esto les lleva a tener una visión parcial del proceso. Por tanto, no se aprecia un progreso relevante en el uso del modelo lo que ocasiona que no determinen las causas por la cual se detienen las reacciones.

III CONCLUSIONES E IMPLICACIONES EDUCATIVAS





Capítulo 6. CONCLUSIONES E IMPLICACIONES EDUCATIVAS

En este capítulo se abordan las conclusiones finales de este estudio, las cuales derivan de las conclusiones parciales de cada grupo analizado, para responder a los objetivos y preguntas de investigación iniciales.

El propósito de esta investigación es analizar la competencia científica de los estudiantes, en términos de argumentación, indagación y modelización, mientras trabajan en pequeño grupo para dar respuesta a un problema sobre la actividad enzimática. Entendemos que el proceso de argumentación es determinante para conocer si las conclusiones a las que llegan son coherentes con los datos de los que parten y si son pertinentes para resolver el problema. A través de la argumentación y a lo largo del proceso de indagación deben acordar los diseños experimentales que realizarán para contrastar las hipótesis [conclusiones] y llegar a una conclusión final [conclusión de 2º nivel]. Además, consideramos que el proceso de modelización incluye los dos procesos anteriores, ya que a través de la argumentación se evalúan los modelos y en la indagación diseñan los experimentos para ponerlos a prueba (Passmore, Stewart y Cartier, 2009). Así, este propósito se concreta en los siguientes objetivos y preguntas de investigación:

Objetivo 1: *Caracterizar la calidad del proceso de argumentación que siguen los estudiantes mientras resuelven el problema planteado.*

1ª pregunta de investigación: ¿Cuál es la calidad de los argumentos que emplean los estudiantes en la resolución del problema?

2ª pregunta de investigación: ¿En qué medida las líneas argumentativas les llevan a conclusiones acordes con el enunciado del problema?

Las conclusiones 1, 2, 3 y 4 hacen referencia a este objetivo.

Objetivo 2: Caracterizar la calidad del proceso de indagación que siguen los estudiantes mientras resuelven el problema planteado.

3^a pregunta de investigación: ¿En qué medida las hipótesis que formulan son pertinentes para resolver el problema?

4^a pregunta de investigación: ¿En qué medida los estudiantes son capaces de diseñar un experimento para contrastar sus hipótesis?

Las conclusiones 5, 6 y 7 están relacionadas con este objetivo.

Objetivo 3: Caracterizar el proceso de modelización que siguen los estudiantes para generar una explicación al problema planteado.

5^a pregunta de investigación: ¿Cómo construyen, evalúan y modifican sus modelos?

6^a pregunta de investigación: ¿En qué medida los modelos elaborados por los estudiantes permiten explicar la detención de las reacciones enzimáticas?

Las conclusiones 8, 9 y 10 se vinculan con este objetivo.

Además de las conclusiones referentes a las preguntas de investigación, las conclusiones 11, 12 y 13 hacen referencia a las características metodológicas y al conocimiento disciplinar empleado en la actividad.

En este capítulo se presentan primero las conclusiones principales de este estudio. A continuación, las implicaciones educativas relacionadas con el aprendizaje y enseñanza de las ciencias a través de las destrezas analizadas. Finalmente, se incluyen algunas consideraciones en relación a: 1) limitaciones del estudio y 2) futuras líneas de investigación relacionadas con los resultados de esta tesis.

6.1. CONCLUSIONES

Los resultados presentados en el capítulo 5, con sus respectivas conclusiones parciales, han permitido llegar a las siguientes conclusiones:

1. El proceso argumentativo es una consecuencia del discurso que se establece entre los miembros del grupo, lo cual determina la calidad de los argumentos.

Del análisis de la calidad de los argumentos generados por los cinco grupos se concluye que la calidad de los mismos está directamente relacionada con el discurso que se establece, en términos de si tienen intención de persuasión (grupos A y B), o por el contrario, se muestran conformes con lo expuesto por sus compañeros.

En general, observamos que los estudiantes, al mostrarse conformes con lo expuesto por otro estudiante, no tienen la necesidad de demostrar que sus argumentos son los adecuados para dar respuesta al problema. Como se observó en el grupo B, que una integrante, al no poder aportar pruebas con las que convencer al resto del grupo, decide aceptar la hipótesis propuesta por sus compañeras.

Como se ha comprobado, los grupos que presentan argumentos de calidad alta han sido los que presentan miembros con un cierto grado de disconformidad sobre lo que proponen sus compañeros, de modo que argumentan y aportan pruebas que enriquecen el proceso, lo cual ha tenido lugar en los grupos A y B, especialmente.

Un caso especial es el grupo C, porque consideramos que la argumentación, a pesar de no contraargumentar ni refutar las conclusiones de otros integrantes del grupo, es utilizada como proceso de persuasión, siguiendo lo considerado por Berland y Reiser (2009), para construir con las ideas de varios integrantes del grupo, una explicación más sólida de la interacción enzima-sustrato, aportando justificaciones que les llevan a resolver el problema.

Encontramos, en el grupo D que, a pesar de no contraargumentar ni refutar los argumentos de otras integrantes del grupo, no están conformes con lo expuesto por sus compañeros, por lo que reclaman justificaciones con sus preguntas, de modo que para demostrar sus conclusiones elaboran argumentos en los que aportan diferentes justificaciones (Zohar y Nemet, 2002), incluso en forma de argumentos (sub-argumentos).

Finalmente, en el grupo E, el único argumento que adquiere una calidad alta es el elaborado por Elsa en el cual utiliza una analogía para explicar su argumento, utilizando experiencias de la realidad (Justi, 2006), con el que justifica el motivo por el que cree que se detienen las reacciones.

Teniendo en cuenta lo indicado por Osborne et al. (2001) sobre la calidad de la argumentación valorada en términos de contraargumentación y refutación, se ha encontrado que sólo en el grupo A se ha contraargumentado los argumentos de uno de sus integrantes, estableciendo una condición de excepción que les llevaría a descartar la primera conclusión. Esto pone de manifiesto que en el grupo A no todos se muestran conformes con lo expuesto por sus compañeros, de modo que la argumentación juega un papel esencial para que se pongan de acuerdo hasta dar con la resolución del problema planteado.

2. La mayoría de las justificaciones incluyen pruebas apropiadas, que demuestra una adecuada interpretación de los datos tanto teóricos como empíricos.

Los resultados muestran que tres grupos (A, B y C) de los cinco grupos analizados han interpretados los datos correctamente, ya que la mayoría de las pruebas a las que apelan para relacionar estos datos con la conclusión son apropiadas (McNeill y Krajcik, 2008), lo que implica que fueron capaces de utilizar el conocimiento necesario para interpretar los datos de forma correcta y, así, llegar a una conclusión que les permitió dar respuesta al problema que les planteamos.

Consideramos que los grupos D y E, comenzaron la actividad interpretando los datos de forma correcta. Sin embargo, a lo largo de la tarea se desvían del problema empleando los datos para justificar la diferencia en la velocidad de reacciones entre el hígado con agua oxigenada, de la patata con agua oxigenada. Ello les conduce a usar pruebas no apropiadas, terminan encaminando sus razonamientos a la comparación de las velocidades de reacción, en lugar de explicar la detención de la misma.

3. Hay un mayor predominio de uso de pruebas teóricas sobre las pruebas empíricas.

Observamos un predominio del uso de pruebas de tipo teórico frente al uso de pruebas de tipo empírico. Consideramos que el motivo de este predominio es que, al tener poca experiencia con relación a la interacción enzima-sustrato, es más fácil apelar a pruebas de tipo teórico porque la información que se aportó fue de tipo teórico, es decir, datos de segunda mano

siguiendo la denominación de Hug y McNeill (2008), que apelar a pruebas de tipo empírico ya que su experiencia consistía en la realización de la Act.1 “*Acción catalítica de los enzimas*”, datos de primera mano. En un estudio llevado a cabo por estas autoras, se comprobó que el alumnado atribuye un status de validez superior a los datos de segunda mano, que a los de primera mano, con los que son más críticos. Esto nos da una idea de que en nuestro caso el uso de pruebas teóricas haya tenido más peso, para justificar los argumentos. De hecho, el grupo D no usó pruebas empíricas como justificación para relacionar los datos con sus conclusiones.

4. Los estudiantes siguen líneas argumentativas que enlazan la interpretación de los datos con las conclusiones a las que llegan.

En general, del análisis de las líneas argumentativas concluimos que los grupos siguen dos líneas argumentativas para intentar dar respuesta al problema.

De los cinco grupos analizados, un caso especial es el grupo C que establece cuatro líneas diferentes. Este grupo abandona las dos primeras, mientras que la tercera está encaminada a la demostración de las diferencias en las velocidades de reacción, por lo que no es adecuada; sin embargo, su última línea argumentativa, que les lleva a enlazar los datos de forma coherente con la conclusión, sí es adecuada por usar pruebas apropiadas llegando así a una resolución del problema.

Dos de los grupos, A y B, siguen dos líneas argumentativas. En ambas líneas usan pruebas apropiadas que utilizan para realizar experimentos mentales que, posteriormente ejecutan, es decir, son líneas argumentativas adecuadas al problema planteado.

Observamos que una de las líneas argumentativas que siguen dos de los cinco grupos, D y E, no enlaza los datos con la conclusión de forma coherente, usan pruebas que no son apropiadas para relacionarlos con la conclusión. Por lo que la línea argumentativa no es adecuada, ya que está enfocada a determinar las diferencias en las velocidades de reacción, en lugar de determinar las causas por las que se detienen las reacciones.

Resumiendo, consideramos que todos los grupos han sido capaces de generar, al menos, una línea argumentativa en la que los datos de los que parte y las conclusiones estén enfocadas a la explicación de la detención de las reacciones.

5. Una gran parte de las hipótesis formuladas les permiten resolver el problema.

Todos los grupos formulan más de una hipótesis, en su mayoría pertinentes para el enunciado del problema, es decir, hipótesis que muestran posibles causas por las que se detienen las reacciones.

Es de resaltar que los grupos A y B formulan hipótesis rivales, con las que pretenden comprobar cuál de los dos componentes de la reacción ‘se termina’ para que se detengan las reacciones. El grupo C formula cuatro hipótesis, pero sólo comprueba dos, una que no está enfocada a la resolución del problema y la otra que les permite dar una respuesta a dicho problema. Sin embargo, las hipótesis que contrastan los grupos D y E no les llegan a dar una respuesta al problema que les planteamos, ya que éstas no están enfocadas a la detención de las reacciones, sino a la diferencia en las velocidades de reacción.

6. Todos los experimentos diseñados por los grupos fueron acordes a las hipótesis que querían contrastar.

Cuando analizamos los diseños experimentales que realizan los estudiantes para contrastar sus hipótesis, observamos que son capaces de planificar experimentos, unos más sofisticados que otros, que les permiten contrastar sus hipótesis.

Es de destacar el diseño experimental realizado por el grupo A, utilizando los productos de la Act.1, planificaron dos experimentos para demostrar cuál de los dos componentes de la reacción causa la detención de la reacción, además de planificar otro experimento para validar los resultados obtenidos de su Exp.A₂ “*Introducir muestras nuevas en el líquido que quedó de la reacción del día anterior*”.

El grupo B diseña cuatro experimentos, de los cuales el primero Exp.B₁ “*Añadir agua oxigenada a los productos de Act.1*” lo planifican para contrastar su hipótesis Hip.B₁ “*se acabó el enzima*”, el segundo experimento (Exp.B₂ “*Introducir nuevas muestras de agua oxigenada*”) lo realizaron para comprobar si las muestras nuevas contenían enzima y los otros dos (Exp.B₃ “*Introducir más cantidad de hígado en el tubo del Exp.B₂ con hígado*” y Exp.B₄ “*Introducir más cantidad de agua oxigenada en el tubo del Exp.B₃*”) los planificaron para observar qué pasaba al realizarlos sin predecir los posibles resultados que podrían obtener.

El grupo C diseña dos experimentos para contrastar dos de sus cuatro hipótesis formuladas. El Exp.C₃ “*Introducir las muestras nuevas en agua oxigenada*” realizado para comparar las

velocidades de reacción ocurridas con las muestras en la Act.1 y las ocurridas en este Exp.C₃, que les permite contrastar su hipótesis Hip.C₃ “*el hígado reacciona más rápido porque es más catalizador, la patata reacciona más lento porque es menos catalizador*” y el Exp.C₄ “*Introducir agua oxigenada en los productos de la reacción de la Act.1*” acorde con la hipótesis que querían contrastar (Hip.C₄ “*el sustrato se convierte en producto, el enzima se recupera*”).

El grupo D modificó el experimento de la Act.1 controlando la variable “cantidad de sustrato” (Exp.D₂ “*comparar las reacciones ocurridas en la Act.2 y Act.3 con las ocurridas en la Act.1*”) para contrastar su Hip.D₂ “*la reacción depende de la cantidad de sustrato*”. Este experimento es adecuado para contrastar dicha hipótesis.

El grupo E también modificó el experimento que realizaron en la Act.1 (Exp.E₂ “*Introducir una cantidad de agua oxigenada en una muestra con una porción menor de enzima (hígado y patata) que en la experiencia de la Act.1*”), en el que controlaban las variables “cantidad de agua oxigenada” y “cantidad de muestra con enzima”, para contrastar su Hip.E₂ “*si hay menos líquido hay más reacción*”. Este experimento es adecuado a la hipótesis que querían contrastar.

7. Los grupos son capaces de realizar una indagación con el propósito de resolver el problema planteado, pero sólo la mitad de ellos desarrollan un proceso de indagación de alta calidad.

A la vista de los resultados obtenidos del análisis del proceso de indagación, a través de las etapas de investigación del proyecto APU (1984), observamos que la mayoría de los grupos estudiados recorren todas las etapas durante la realización de la actividad. Para resolver el problema planteado, cuya respuesta no es inmediata, los estudiantes deben aplicar sus conocimientos en una nueva situación (Gott y Dugan, 1995), esta nueva situación es la interacción enzima-sustrato. Por tanto, tienen que actuar como científicos, investigando y utilizando estrategias para resolverlo, esto es, tienen que realizar una indagación (NCR, 1996).

Observamos que los grupos utilizan diferentes estrategias para obtener resultados que les permitan dar respuesta al problema. El grupo A planifica todo antes de realizar ninguna comprobación. La estrategia del grupo B es ir realizando experimentos, a medida que se le ocurren, para comprobar ‘qué pasa’. Observamos que el grupo C, considera que existe más de una explicación por lo que utiliza la estrategia de no rechazar ninguna vía de investigación,

llevando a cabo dos. La estrategia que siguen los grupos D y E es muy similar llevan dos investigaciones paralelas, pero, en un momento de la actividad, abandonan una por no tener herramientas suficientes para resolverla, siguiendo la otra investigación.

De los cinco grupos analizados, tres (A, B y C) evalúan si los experimentos realizados permiten dar respuesta al problema planteado, lo cual coincide con los tres grupos que desarrollan un proceso de indagación de calidad alta, por establecer hipótesis pertinentes y diseñar experimentos nuevos, es decir, diferentes de lo llevado a cabo en la Act.1. El grupo A diseña un experimento para comprobar la validez de otro. El grupo B, sin intención de evaluar sus experimentos, realiza nuevos experimentos que le llevan a validar los resultados obtenidos. Es interesante que el grupo B, después de evaluar los resultados obtenidos cuando realizan su primer experimento, re-formula su hipótesis para la reacción con la muestra de hígado, siguiendo posteriormente, las etapas de investigación para comprobarla. La evaluación que realiza el grupo C consiste en confirmar sus resultados de forma teórica, apoyándose en la hoja de ayuda. Sólo, los grupos D y E no evalúan si sus experimentos permiten validar los resultados obtenidos, lo que ocasiona que sus procesos de indagación tengan una calidad baja.

8. Los estudiantes son capaces de elaborar modelos para explicar la detención de las reacciones.

Los resultados obtenidos del análisis de modelización llevado a cabo por los estudiantes muestran que, de los cinco grupos analizados, tres (A, B y C) dan respuesta al problema planteado, porque la planificación y ejecución de pruebas experimentales para los modelos que elaboran están encaminados a demostrar las causas de la detención de las reacciones. Tanto el grupo D como el grupo E, elaboraron varios modelos. Para los modelos, modelo D₂ y modelo D₃ (grupo D) y modelo E₂ (grupo E), los grupos respectivos planificaron y llevaron a cabo pruebas experimentales enfocadas a la comparación de las diferencias en las velocidades de reacción no a la explicación de la detención de las reacciones. No obstante, si realizaran experimentos mentales y planificaran pruebas experimentales para sus otros modelos, modelo D₁ y modelo E₁, se darían cuenta de que con ellos podrían dar una explicación a las causas por las que se detienen las reacciones.

Una dificultad añadida al proceso de modelización es la elaboración del modelo cuando se trabaja en grupo, lo cual ya ha sido manifestado en anteriores estudios como (Maia y Justi, 2009; Mendonça y Justi, 2011; Blanco Anaya, Justi y Díaz de Bustamante, en prensa). Por lo

que, para analizar, el proceso de modelización de los grupos, hicimos una modificación del MMD (Justi y Gilbert, 2002) adaptándolo a nuestras necesidades de estudio. Consideramos que, para llegar al *modelo consensuado* (indicado en nuestro referencial como modelo expresado/consensuado), primero deben elaborar *modelos mentales individuales* que deben expresar de alguna manera de representación, convirtiéndolos en *modelos expresados individuales*. Entendemos que, de alguna manera, estos modelos expresados deben ser discutidos y probados de forma experimental para llegar a un acuerdo y elaborar un *modelo consensuado* (Gilbert, Boulter y Elmer, 2000). No obstante, una de las cuestiones más difíciles es la interpretación de estos modelos consensuados, en cuanto a si están realmente consensuados por el grupo o, si estamos considerando que está consensuado por el hecho de que nadie lo contradice (Mendonça y Justi, 2011; Blanco Anaya, Justi y Díaz de Bustamante, en prensa).

9. La mayoría de los grupos considera el rango de validez y las limitaciones de sus modelos.

De los cinco grupos analizados, tres de ellos, A, B y C, comprueban el rango de validez de sus modelos. Esta comprobación es importante por que permite a los estudiantes entender que puede existir más de un modelo para la misma situación y que los modelos pueden ser modificados (Justi, 2006). Los integrantes del grupo A tienen la necesidad de comprobar si con sus pruebas experimentales pueden validar sus modelos, para ello, deciden realizar la misma experiencia de la Act.1 para asegurarse de que las muestras aportadas para las Act.2 y Act.3 tienen enzimas. El grupo B no explicita la necesidad de validar sus modelos, no obstante, las pruebas experimentales que realizan, casi espontáneamente, les llevan a validarlos. En el caso del grupo C, validaron su modelo C₄ de forma teórica, apoyándose en la información aportada en la hoja de ayuda.

10. A lo largo del proceso de modelización se aprecia una modificación en el conocimiento de la interacción enzima-sustrato.

Consideramos que el proceso de modelización llevado a cabo por los estudiantes les permite modificar su conocimiento sobre la interacción enzima-sustrato, porque al elaborar sus modelos los expresan y realizan predicciones con ellos (García-Rodeja Gayoso y Lima de Oliveira, 2012). Observamos en todos los grupos analizados que, partiendo de la experiencia con el objeto a modelar (Act.1) y de aspectos de la realidad usados para la elaboración del

modelo, son capaces de expresar un modelo (expresado/consensuado) el cual ponen a prueba al realizar experimentos mentales que posteriormente ejecutan para comprobar si con ese modelo pueden explicar la detención de las reacciones. Entendemos que, después de realizar experimentos y al interpretar los resultados obtenidos como incorrectos son capaces de modificar sus modelos consensuados. Además, en el caso de obtener un resultado incorrecto, en los experimentos que planificaron y llevaron a cabo, llegan a rechazar el modelo. Por tanto, consideramos que al modificar y/o rechazar sus modelos están modificando su conocimiento (Justi y Gilbert, 2002; Morrison y Morgan, 1999) de la interacción enzima-sustrato.

Un caso especial es el grupo C, cuyas integrantes no modifican ni rechazan los cuatro modelos consensuados que construyen, de los cuales descartan dos modelos porque no los comprueban y aceptan los otros dos. Sin embargo, su proceso de modelización les permite modificar su conocimiento sobre la interacción enzima-sustrato, ya que durante el proceso de modelización se observa un progreso en la construcción del modelo, ya que cuando finalizan la actividad el modelo construido se ajusta al referencial.

Un caso particular es Elsa (grupo E) quien generó una analogía espontánea, constituyendo, un modelo analógico a partir de la comprensión de un dominio más familiar (Oliva y Aragón, 2009; Wong, 1993). Elsa hace una comparación explícita del fenómeno con el sistema análogo para explicar a sus compañeras y ayudarles a comprender la noción de reacción enzimática, desde su punto de vista familiar y conocido, como indica en su estudio de Dagher (1995). En nuestra propuesta didáctica no utilizamos analogías para explicar a los estudiantes el funcionamiento de las reacciones enzimáticas, por lo que consideramos que al hacer esta analogía adquiere y ayuda a adquirir, a sus compañeras, una mejor comprensión de la interacción enzima-sustrato. Lo cual coincide con lo indicado por Duit y Glynn (1996) que las analogías ayudan a comprender lo abstracto mediante el uso de objetos cotidianos.

11. La información aportada en la hoja de ayuda desvía a los estudiantes del problema planteado.

De los cinco grupos analizados, tres de ellos (C, D y E) están influenciados por la información aportada en la hoja de ayuda en relación a las velocidades de reacción. Esta influencia provoca que desvíen su atención del problema planteado por lo que las hipótesis que formulan no permiten llegar a una resolución del mismo. El grupo D y el grupo E enfocan su investigación en la comparación de las diferencias en las velocidades de reacción entre las reacciones

ocurridas en la Act.1 y las ocurridas en sus experimentos realizados para Act.2 y Act.3. El grupo D se centra, simplemente, en la cantidad de sustrato añadido (Hip.D₂ “*la reacción depende de la cantidad de sustrato*”), por lo que deciden controlar la variable “cantidad de sustrato” y el grupo E, además de controlar la variable “cantidad de agua oxigenada”, decide controlar la variable “cantidad de muestra con enzima” (Hip.E₂ “*si hay menos líquido hay más reacción*”).

Sin embargo, el grupo C enfoca su investigación parcialmente en las velocidades de reacción cuando formula su Hip.C₃ “*el hígado reacciona más rápido porque es más catalizador, la patata reacciona más lento porque es menos catalizador*”. En esta parte de su investigación, lo que pretenden demostrar es que las muestras de hígado y de patata reaccionan a diferente velocidad.

12. Surgen ideas alternativas relacionadas con la interacción enzima-sustrato.

Hemos detectado que algunos grupos presentan dificultades relacionadas con el proceso de la interacción del enzima con el sustrato.

En el grupo C, se detectaron dos ideas alternativas referentes a: 1) la función de los enzimas, pues consideran que los enzimas son catalizadores que frenan la reacción, posteriormente modificaron esta idea cuando expusieron su Hip.C₃ en la que indicaban que las reacciones que se producían a mayor velocidad son más catalizadores que los que se producen a menor velocidad, y 2) la confusión en el concepto de desnaturalización y agotamiento, considerando que los enzimas se desnaturalizan porque se acaban.

En el grupo D, identificamos dos ideas alternativas referentes a: 1) consideran que el oxígeno que se libera en la reacción proviene de las muestras (hígado y patata), en lugar de entender que se desprende del agua oxigenada y, 2) la consideración de que en el momento en que todo el enzima está en forma de complejo enzima-sustrato se detiene la reacción, cuando lo que ocurre es que está la reacción en su velocidad máxima.

En el grupo E, observamos que sus argumentos llevan implícitos tres ideas alternativas: 1) al enzima lo denominan ‘tejido’, 2) consideran que el enzima interviene en la descomposición de las muestras al observar que éstas están deterioradas y, 3) consideran que toda la muestra (hígado y patata) es el enzima y no que el enzima está contenido en la muestra.

En general, se ha percibido que la comprensión del estado de transición en forma de complejo enzima-sustrato y la recuperación del enzima una vez finalizada la reacción es compleja, lo cual coincide con las dificultades indicadas en el estudio llevado a cabo por Shi et al. (2010).

Un aspecto que debe tenerse en cuenta es que el empleo del término “agua oxigenada” provoca imprecisiones en el lenguaje e incluso induce a confusiones al dar la idea de que es agua que tiene oxígeno disuelto en ella y no de que es un compuesto químico diferente. Con el empleo de “peróxido de hidrógeno” probablemente se evitarían estas confusiones.

13. Los estudiantes son capaces de realizar una actividad abierta relacionada con la interacción enzima-sustrato, a pesar de tener poca experiencia en relación a este tema.

Nuestra propuesta didáctica es una actividad experimental, de tipo investigativo, cuyo grado de apertura es 2 (Herron, 1971) y posee una complejidad cognoscitiva que requiere de una determinada capacidad conceptual. Considerando que los participantes de nuestro estudio cursaban 4º ESO y se encuentran entre el nivel cognoscitivo concreto avanzado (2B) y formal inicial (3A) (Shayer y Adey, 1986), los resultados obtenidos del análisis nos muestran que estudiantes fueron capaces de aportar pruebas, diseñar experimentos y usar el modelo de interacción enzima-sustrato para la resolución del problema, es decir, poseen las capacidades para resolver el problema, desarrollando su competencia científica pese a que la temática abordada no está presente en su currículo.

6.2. IMPLICACIONES EDUCATIVAS

Las implicaciones educativas extraídas de las conclusiones expuestas anteriormente se comentan a continuación.

De las conclusiones 1, 2, 3 y 4 derivan las siguientes implicaciones educativas:

Consideramos que es importante promover en el aula de ciencias situaciones que favorezcan el proceso argumentativo, y, al igual que Jiménez Aleixandre (2008), opinamos que la argumentación y el aprendizaje de la ciencia deben estar conectados, porque la argumentación debe favorecer el entendimiento de la ciencia, evaluar su propio conocimiento y discutirlo entre iguales. Asimismo, trabajando en pequeño grupo, en el contexto de aula-laboratorio, se consigue la implicación de los estudiantes en el proceso de argumentación lo que contribuye a la construcción del conocimiento compartido (Candela, 1991).

Otra implicación educativa es que, este tipo de actividades, permite a los estudiantes involucrarse en estrategias heurísticas para aprender a razonar, al tiempo que, al construir sus argumentos, exterioricen su razonamiento dando acceso al mismo (Kelly, Regev y Prothero, 2007), lo que les permitirá la evaluación y el mejoramiento de sus argumentos (Kelly y Takao, 2002; Henao y Stipcich, 2008).

De las conclusiones 5, 6 y 7 resultan las siguientes implicaciones educativas:

Como indicamos anteriormente, en nuestra propuesta didáctica son los estudiantes los que deben establecer el procedimiento, analizando los datos para responder al problema planteado (Bell, Maeng y Peters, 2010), usando sus capacidades de pensamiento para realizar una actividad sin protocolo (Tenreiro-Vieira y Marques Vieira, 2006). De los resultados obtenidos, observamos que si le damos a los estudiantes la oportunidad de actuar como científicos éstos son capaces de realizar investigaciones que les lleven a una conclusión, a partir de la interpretación los datos y aportando pruebas, para elaborar hipótesis, diseñar experimentos, definir e identificar variables, evaluar resultados y comunicar conclusiones. A veces la interpretación de los datos es errónea (Kanari y Millar, 2004) o no evalúan los resultados obtenidos, provocando la desviación del problema que deben resolver (Puntambekar y Kolodner, 2005), por lo que el apoyo del docente se hace necesaria.

De las conclusiones 8, 9 y 10 surgen las siguientes implicaciones educativas:

Estamos de acuerdo con Blanco Anaya, Justi y Díaz de Bustamante (en prensa) en que uno de los aspectos más favorables del proceso de modelización consiste en dar a los estudiantes la oportunidad de exteriorizar sus ideas, permitiendo de esta manera, identificar ideas alternativas.

En nuestra opinión, se deben diseñar actividades que promuevan la construcción y utilización de modelos. Debido a que la finalidad de construir el modelo consiste en explicar los aspectos significativos de un fenómeno del mundo físico (Bower y Morrow, 1990), en nuestra propuesta, para explicar las posibles causas de la detención de las reacciones del agua oxigenada con enzima catalasa (hígado y patata). En este proceso los estudiantes adquieren conocimientos que formarán parte de las experiencias del individuo sobre el objeto a modelar (Justi y Gilbert, 2002) y, cuando se aplique se puede aprender sobre la realidad que representa dicho modelo (Morrison y Morgan, 1999).

En este estudio se ha demostrado que las actividades en las que está implicada la elaboración de modelos para resolver problemas, tienen una ventaja, permiten a los estudiantes activar diferentes modelos, lo que les lleva a generar diferentes explicaciones, que pueden ser más o menos complejas sobre el conocimiento en cuestión, en nuestro caso, la interacción enzima-sustrato. Por eso, al igual que otros autores, consideramos que la construcción y uso de modelos es una herramienta importante para el aprendizaje de la ciencia (Halloun, 2006; Moreira, Greca y Rodríguez, 2002) y un método clave para el cambio conceptual (Nersessian, 1999; Megalakaki y Tiberghien, 2011).

De las conclusiones 11, 12 y 13 surgen las siguientes implicaciones educativas:

Consideramos que las actividades abiertas permiten a los estudiantes utilizar el pensamiento lógico y crítico, al mismo tiempo que les permite considerar que pueden existir diferentes explicaciones para un mismo fenómeno (Jiménez Aleixandre, 1998), por lo que se deberían fomentar en el aula. No obstante, debemos tener en cuenta la información que se aporta en la realización de una actividad abierta, puesto que un exceso lleva a que los estudiantes desconfíen de sus propios conocimientos.

6.3. CONSIDERACIONES FINALES

Por último, se abordan los aspectos relacionados con las limitaciones que se han encontrado a lo largo del proceso de investigación y las futuras líneas de investigación que suscitan los resultados obtenidos.

6.3.1. Limitaciones de la tesis

Las limitaciones de esta tesis son:

a) El estudio de casos colectivos no implica que los resultados obtenidos se puedan generalizar a toda la población (Yacuzzi, 2005), ya abordado en la metodología. Sin embargo, la principal ventaja de los estudios de caso es que nos permite conocer, en profundidad (Stake, 2005) y con mejor comprensión, las interacciones que se establecen entre los estudiantes para construir argumentos, modelos, así como el proceso de indagación que siguen para la resolución del problema.

b) En relación al análisis de la argumentación, la mayor limitación es la naturaleza de este análisis, al ser un proceso interpretativo, nos hemos encontrado dificultades relacionadas con la intencionalidad con la que se expresan los estudiantes, por ejemplo, una prueba podría confundirse con una conclusión, por ese motivo la objetividad del investigador es importante. Para reducir estas dificultades hemos utilizado las directrices establecidas por Kelly, Druker y Chen (1998), con la confianza de hacer este análisis de la forma más objetiva posible.

c) Otra limitación, observada al analizar los resultados, está relacionada con la información dada como ayuda para la resolución del problema. Consideramos que aportamos excesiva información sobre la velocidad de reacción en la hoja de ayuda, ya que esto lleva a algunos grupos a plantear el problema en relación a las velocidades de reacción y no a enfocar la resolución del problema a las causas de la detención de las reacciones.

6.3.2. Futuras líneas de investigación

Las futuras líneas de investigación, que proponemos a continuación, provienen de los resultados y conclusiones de esta tesis, así como las motivaciones de la autora.

La primera línea de investigación está encaminada al análisis de cómo las tres destrezas, argumentación, indagación y modelización, se interrelacionan en la práctica. Ello requiere elaborar una herramienta de análisis de las tres destrezas a la vez, lo cual necesita ser validado. Sin duda, esto enriquecería el análisis pues entendemos que el proceso de argumentación es fundamental para el proceso que les llevará a demostrar si las hipótesis que formulan son adecuadas para resolver el problema. Asimismo, consideramos que en el proceso de modelización están englobadas todas las destrezas, ya que argumentando se evalúan los modelos que construyen, a lo que también contribuye el diseño de experimentos o indagación.

Una segunda línea de investigación está enfocada al diseño de actividades relacionadas con el aprendizaje de la cinética enzimática, las dificultades asociadas y su implementación en la enseñanza secundaria. Esta motivación surge durante la realización de este estudio, al observar el escaso número de estudios relacionados con la cinética enzimática en la enseñanza secundaria. Las actividades que nos encontramos, mayoritariamente, son experiencias en las que los estudiantes sólo tienen que seguir un guión. Por lo que, si diseñamos actividades de tipo investigativo, podríamos fomentar en los estudiantes el desarrollo de destrezas, como las

analizadas en este estudio, además de contribuir en una mejora en éste tipo de conocimiento por parte de los estudiantes.



IV REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS





Capítulo 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acher, A., Arcà, M., y Sanmartí, N. (2007). Modeling as a teaching learning process for understanding materials: A case study in primary education. *Science Education*, 91(3), 398-418.
- Albaladejo, C. y Caamaño, A. (1992). Los trabajos prácticos en M. P. Jiménez; C. Albaladejo y A. Caamaño *Didáctica de las ciencias de la naturaleza. Curso de actualización científica y didáctica* (pp. 95-128). Madrid:MEC.
- Álvarez, C., y San Fabián, J. L. (2012). La elección del estudio de caso en investigación educativa. *Gazeta de Antropología*, 28 (1), artículo 14.
- Álvarez, S. M. (2007). Cómo desean trabajar los alumnos en el laboratorio de Biología. Un acercamiento a las propuestas didácticas actuales. *Revista Iberoamericana de Educación*, 42 (7), 1-13.
- Antón, A. (2007). Análisis del discurso mediante el modelo de Toulmin. *Jornades de Foment de la Investigació*, 12. Recuperado el 14 de diciembre de 2015 de la ubicación <http://www.uji.es/bin/publ/edicions/jfi12/20.pdf>.
- APU (Assesment Performance Unit) (1984). *Science reports for teachers*. London: ASE.
- Aragón, M., Oliva, J., y Navarrete, A. (2009). Aportaciones de la enseñanza con analogías al desarrollo de los modelos explicativos de los alumnos acerca del cambio químico. *Enseñanza de las ciencias*, VIII Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias (Extra), 127-132.

- Archila, P. A. (2012). La investigación en argumentación y sus implicaciones en la formación inicial de profesores de ciencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 9 (3), 361-375.
- Bell R., Maeng, J., y Peters, E. (2010). *VMSC Scientific Inquiry and NOS Task Force Report*. Virginia. Virginia Mathematics and Science Coalition. Recuperado el 13/octubre/2016 de http://www.vamsc.org/proyectos/vmsc_inquiry_and_nos_white_paper_5_11_10.doc.
- Berland, L. K., y Reiser, B. J. (2009). Making sense of argumentation and explanation. *Science Education*, 93(1), 26-55.
- Bielaczyc, K., y Collins, A. (1999). Learning communities in classrooms: A reconceptualization of educational practice. En C. M. Reigeluth (Ed.), *Instructional-design theories and models: A new paradigm of instructional theory*, Vol. II (pp.269-292). Mahwah NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Billig, M. (1987). *Arguing and thinking: A rhetorical approach to social psychology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Blanco Anaya, P, Justi, R. y Díaz de Bustamante, J. (en prensa). Challenges and opportunities in analysing students modelling. *International Journal of Science Education*.
- Blanco Anaya, P. (2015). Modelización y argumentación en actividades prácticas de geología en secundaria. (Tesis doctoral). Universidade de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela.
- Bower, G. H., y Morrow, D. G. (1990) Mental Models in Narrative Comprehension. *Science*, 247, 44-48.
- Bretz, S. L. y Linenberger, K. J. (2012). Development of the enzyme–substrate interactions concept inventory. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 40 (4), 229-233.
- Bricker, L. A., y Bell, P. (2008). Conceptualizations of argumentation from science studies and the learning sciences and their implications for the practices of science education. *Science Education*, 92 (3), 473-498.

- Brown, A. L. (1992). Designing experiments: theoretical and methodological challenges in creating complex interventions in classroom setting. *The Journal of the Learning Sciences*, 2 (2), 141-178.
- Buchner, E. (1897). Alkoholische Gärung ohne Hefezellen. *Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft*, 30 (2), 1110-1113.
- Buitrago, Á. R., Mejía, N. M., y Hernández, R. (2013). La argumentación: de la retórica a la enseñanza de las ciencias. *Revista Innovación Educativa*, 13 (63), 17-40.
- Caamaño, A. (1992). Los trabajos prácticos en ciencias experimentales: Una reflexión sobre sus objetivos y una propuesta para su diversificación. *Aula de innovación educativa*, 9, 61-68.
- Caamaño, A. (2003). Los trabajos prácticos en ciencias. En: M. P. Jiménez Aleixandre (Coord.) *Enseñar ciencias* (pp. 95-118) Barcelona: Graó.
- Caamaño, A. (2005) Trabajos prácticos investigativos en química en relación con el modelo atómico-molecular de la materia, planificados mediante un diálogo estructurado entre profesor y estudiantes. *Educación química*, 16 (1), 10-19.
- Caamaño, A. (2010). Argumentar en ciencias. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 63, 5-10.
- Caamaño, A. (2011a). Enseñar Química mediante la contextualización, la indagación y la modelización. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 17 (69), 21-34.
- Caamaño, A. (2011b). Los trabajos prácticos en física y química: Interpretar e investigar. En A. Caamaño (Coord.) *Didáctica de la física y la química*. Barcelona: Graó, 143-167.
- Cañas, A., Martín Díaz, M. J., y Níeda, J. (2007). *Competencia en el conocimiento e interacción con el mundo físico*. Madrid: Alianza Editorial.
- Candela, M. A. (1991). Argumentación y conocimiento científico escolar. *Infancia y aprendizaje*, 14 (55), 13-28.
- Cañete, J.; Martínez, J.; Pulido, C., y Roiz, J. M. (1990). *Actividades de laboratorio. Libro del alumno. Biología II. Educación secundaria*. MARE NOSTRUM / TSD: ENOSA. Madrid.

- Cebero, M., Almudí, J.M., y Zubimendi, J.L. (2014) Análisis de los argumentos elaborados por estudiantes de cursos introductorios de Física universitaria ante situaciones problemáticas. *Enseñanza de las Ciencias*, 32 (3), 71-88.
- Cebero, M., Guisasola, J. y Almudí, J. M. (2005). Revisión de las investigaciones sobre propuestas didácticas en resolución de problemas de física. *Enseñanza de las Ciencias*, (Extra), 0001-5.
- Chinn, C. A. y Brewer, W. F. (1998), An empirical test of a taxonomy of responses to anomalous data in science. *Journal of Research in Science Teaching*, 35, 623–654.
- Chinn, C. A. y Malhotra, B. A. (2002). Epistemologically authentic inquiry in schools: a theoretical framework for evaluating inquiry tasks. *Science Education*, 86(2), 175-218.
- Clement, J. (1989) Learning via model construction and criticism: Protocol evidence on sources of creativity in science. En J. Glover, R. Ronning and C. Reynolds (eds) *Handbook of creativity: assessment, theory and research* (pp. 341-381). New York: Plenum.
- Cohen, L., Manion, L. y Morrison, K. (2007). *Research methods in education*. London: Routledge Falmer.
- Crujeiras Pérez, B. (2014). Competencias e prácticas científicas no laboratorio de química: participación do alumnado de secundaria na indagación. (Tesis doctoral). Universidade de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela.
- Crujeiras Pérez, B., y Jiménez Aleixandre, M. P. (2012). Participar en las prácticas científicas: aprender sobre la ciencia diseñando un experimento sobre pastas de dientes. *Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales*, 72, 12-19.
- Crujeiras Pérez, B., y Jiménez Aleixandre, M. P. (2015) Desafíos planteados por las actividades abiertas de indagación en el laboratorio: articulación de conocimientos teóricos y prácticos en las prácticas científicas *Enseñanza de las Ciencias*, 33 (1), 63-84.
- Curtis, H.; Barnes, N.S.; Schnek, A., y Massarini, A. (2008). *Biología* (7^a ed.). Buenos Aires: Médica Panamérica.

- Dagher, Z. R. (1995). Review of studies on the effectiveness of instructional analogies in science education. *Science education*, 79 (3), 295-312.
- Dahmer, E. R. (1987). Microcomputer assisted teaching of enzyme kinetics. *Biochemical Education*, 15 (2), 69-70.
- Del Re, G. (2000). Models and analogies in science. *International Journal for Philosophy of Chemistry*, 6 (1), 5-15.
- Denzin, N. K. y Lincoln, Y. S. (2000). The discipline and practice of qualitative research. En N. K. Dezin y Y. S. Lincoln (Eds.), *Handbook of Qualitative Research* (pp. 1 -28) Segunda Edición. California: Sage Publications.
- Díaz de Bustamante, J. y Jiménez Aleixandre, M. P. (1999). Aprender ciencias, hacer ciencias: resolver problemas en clase. *Alambique*, 6 (20), 9-16.
- Díaz de Bustamante, J. y Jiménez Aleixandre, M. P. (2006) La apropiación de la cultura científica: prácticas epistémicas en el laboratorio de biología. En: J. Díaz de Bustamante e M. P. Jiménez Aleixandre (Eds) *Perspectivas sobre a aprendizaxe das Ciencias e das Matemáticas. Estudos en honor ao Profesor Eugenio García-Rodeja Fernández* (57-82). Departamento de Didáctica das Ciencias Experimentais. Santiago de Compostela: Universidade de Santiago de Compostela.
- Driver, R., Newton, P., y Osborne, J. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science education*, 84 (3), 287-312.
- Duggan, S., y Gott, R. (1995). The place of investigations in practical work in the UK National Curriculum for Science. *International Journal of Science Education*, 17 (2), 137-147.
- Duit, R. (1991). On the role of analogies and metaphors in learning science. *Science education*, 75 (6), 649-672.
- Duit, R. y Glynn, S. (1996). Mental modelling. En: G. Welford, J. Osborne, y P. Scott, *Research in science education in Europe*, pp.166-176. UK:Farnes Press.
- Duschl, R. A. (1995). Más allá del conocimiento: los desafíos epistemológicos y sociales de la enseñanza mediante el cambio conceptual. *Enseñanza de las Ciencias* 13 (1), 3-14.

- Erduran, S., Simon, S. y Osborne, J. (2004). TAPping into argumentation: Developments in the application of Toulmin's argument pattern for studying science discourse. *Science education*, 88 (6), 915-933.
- España Talón, J. A. (1984). *Biología. BAI. Guía de experiencias*. ENOSA. Madrid.
- Fischer, E. (1894). Einfluss der Configuration auf die Wirkung der Enzyme. *Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft*, 27 (3), 2985-2993.
- Fuhrman, M., Novick, S., Lunetta, V. y Tamir, P. (1978). *The Laboratory Structure and Task Analysis Inventory (LAI). (Technical Report 14)*. Iowa City, IA: Science Education Center, University of Iowa.
- Galagovsky, L., y Adúriz-Bravo, A. (2001). Modelos y analogías en la enseñanza de las ciencias naturales. El concepto de modelo didáctico analógico. *Enseñanza de las Ciencias*, 19 (2), 231-242.
- García-Rodeja Gayoso, I. y Lima de Oliveira, G. (2012). Sobre el cambio climático y el cambio de los modelos de pensamiento de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias*, 30 (3), 195-218.
- Gee, J. P. (2005). *La ideología en los discursos: lingüística social y alfabetizaciones* [traducción de Pablo Manzano]. Madrid: Morata.
- Gee, J. P. y Handford, M. (eds.) (2012). *The Routledge Handbook of Discourse Analysis*. New York: Routledge.
- Gibbs, G. (2007). *Analyzing Qualitative Data*. London: Sage Publications.
- Giere, R. N. (1999). Using models to represent reality. En L. Magnani, N. J. Nersessian y P. Thagard, *Model-based reasoning in scientific discovery*, (pp. 41-57). New York: Kluwer Academic/Plenum.
- Giere, R. N. (2004). How models are used to represent reality. *Philosophy of science*, 71 (5), 742-752.
- Gil, D. y Martínez-Torregrosa, J. (1983). A model for problem solving in accordance with scientific methodology. *European Journal of Science Education*, 5 (4), 447-455.

- Gilbert, J. K., Boulter, C. J. y Elmer, R. (2000) Positioning models in Science Education and in Design and Technology Education. En: Gilbert J. K. y Buolter, C. J. (eds), *Developing models in Science Education*. Kluwer. Dordrecht, The Netherlands, 3-17.
- Glynn, S. M., Britton, B. K., Semrud-Clikeman, M. y Muth, K. D. (1989). Analogical reasoning and problem solving in science textbooks. En J.A. Glover, R.R. Ronning y C.R. Reynolds (eds.). *Handbook of Creativity*, 383-398. Nueva York: Plenum.
- Gott, R. y Duggan, S. (1995). *Investigative Work in the Science Curriculum*. Buckingham: Open University Press.
- Grandy, R. E. y Duschl, R. A. (2008). Consensus: Expanding the scientific method and school science. En R. A. Duschl y R. E. Grandy (Eds.). *Teaching scientific inquiry: Recommendations for research and implementation* (pp. 304-325). Rotterdam: Sense Publishers.
- Greca, I. M. y Moreira, M. A. (1998). Modelos mentales, modelos conceptuales y modelización. *Caderno catarinense de ensino de física*. 15 (2), 107-120.
- Grosslight, L., Unger, C., Jay, E., y Smith, C. (1991). Understanding models and their use in science: conceptions of middle and high school students and experts. *Journal of Research in Science Teaching*, 28 (9), 799-822.
- Gutiérrez, R. (1996). Modelos mentales y concepciones espontáneas. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 3 (7), 73-86.
- Gutiérrez, R. (2004). La modelización y los procesos de enseñanza/aprendizaje. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 10 (42), 8-18.
- Halliday, M. A. K. y Martin, J. R. (1993). *Writing science: Literacy and discursive power*. Pittsburgh, PA: University of Pittsburgh Press.
- Halloun, I. A. (2006). *Modeling theory in science education* (Vol. 24). Dordrecht, The Netherlands: Springer.
- Harré, R. (1986). *Grandes experimentos científicos*. Madrid: Labor.

- Harrison, A. G. (2008). Teaching with analogies: Friends of foes? En A. G. Harrison, y R. K. Coll (Eds.), *Using analogies in middle and secondary science classrooms*, 6-21. California: Corwin Press.
- Harrison, A. G. y Treagust, D. F. (2000) A typology of school science models. *International Journal of Science Education*, 22 (9), 1011-1026.
- Henao, B. L. (2010). Hacia la construcción de una ecología representacional: aproximación al aprendizaje como argumentación desde la perspectiva de Stephen Toulmin (Tesis doctoral). Universidad de Burgos, Burgos.
- Henao, B. L. y Stipcich, M. S. (2008). Educación en ciencias y argumentación: la perspectiva de Toulmin como posible respuesta a las demandas y desafíos contemporáneos para la enseñanza de las Ciencias Experimentales. *REEC: Revista electrónica de enseñanza de las ciencias*, 7 (1), 47-62.
- Herron, M. D. (1971). The nature of scientific inquiry, *School Review*, 79, 141-212.
- Hodson, D. (1992). In search of a meaningful relationship: an exploration of some issues relating to integration in science and science education. *International Journal of Science Education*, 14 (5), 541-562.
- Hodson, D. (1994). Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (3), 299-313.
- Hodson, D. (2003). Time for action: science education for an alternative future. *International Journal of Science Education*, 25 (6), 645-670.
- Hofstein, A. (2004). The laboratory in Chemistry Education: thirty years of experience with developments, implementation and research. *Chemistry Education: Research and Practice*, 5(3), 247-264.
- Hofstein, A. y Lunetta, V. N. (2004). The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century. *Science education*, 88 (1), 28-54.
- Hogan, K. y Maglienti, M. (2001). Comparing the epistemological underpinnings of students' and scientists' reasoning about conclusions. *Journal of Research in Science Teaching*, 38 (6), 663-687.

- Hug, B. y McNeill, K. L. (2008). Use of First-hand and Second-hand Data in Science: Does data type influence classroom conversations? *International Journal of Science Education*, 30 (13), 1725-1751.
- Ibraim, S. D. S., Mendonça, P. C. C. y Justi, R. (2013). Contribuições dos Esquemas Argumentativos de Walton para análise de argumentos no contexto do Ensino de Ciências. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 1 (1), 159-185.
- Izquierdo, M. y Adúriz-Bravo, A. (2005). Los Modelos teóricos para la ciencia escolar: un ejemplo de química. *Enseñanza de las ciencias*, N° extra. VII Congreso, 1-4.
- Jiménez Aleixandre, M. P. (1998). Diseño curricular: Indagación y razonamiento con el lenguaje de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 16 (2), 203-216.
- Jiménez Aleixandre, M. P. (2003). Comunicación y lenguaje en la clase deficiencias. En M. P. Jiménez Aleixandre (coord.). *Enseñar Ciencias* (pp. 55-71). Barcelona: Graó.
- Jiménez Aleixandre, M. P. (2008). Designing Argumentation Learning Environments. En: S. Erduran y M. P. Jiménez-Aleixandre (Eds.), *Argumentation in science education: perspectives from classroom-based research* (pp. 91-115). Dordrecht, the Netherlands: Springer.
- Jiménez Aleixandre, M. P. (2010). *10 Ideas Clave. Competencias en argumentación y uso de pruebas*. Barcelona: Graó.
- Jiménez Aleixandre, M. P., Bravo, B. y Puig, B. (2009). ¿Cómo aprende el alumnado a usar y evaluar pruebas?. *Aula de Innovación Educativa*, 16 (186), 10-12.
- Jimenez -Aleixandre, M. P., Bugallo, A. y Duschl, R. A. (2000). "Doing the lesson" or "doing science": Argument in high school genetics. *Science Education*, 84 (6), 757-792.
- Jiménez Aleixandre, M. P. y Díaz de Bustamante, J. (2003). Discurso de aula y argumentación en la clase de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 21 (3), 359-370.
- Jiménez Aleixandre, M. P., Díaz de Bustamante, J y Duschl, R. A. (1998). Scientific culture ans school culture: epistemic and procedural components. Trabajo presentado en el Congreso Anual de NARST, San Diego, abril 1998.

- Jiménez Aleixandre, M. P. y Pereiro, C. (2002). Knowledge producers or knowledge consumers? Argumentation and decision making about environmental management. *International Journal of Science Education*, 24 (11), 1171-1190.
- Jiménez Aleixandre, M. P. y Puig, B. (2013). El papel de la argumentación en la clase deficiencias: Llevando a cabo prácticas científicas. *Alambique, Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 75, 85-90.
- Jiménez, G., Llobera, R. y Llitjós, A. (2005). Los niveles de abertura en las prácticas cooperativas de química. *REEC: Revista electrónica de enseñanza de las ciencias*, 4 (3), 2.
- Johnson- Laird, P. (1983). *Mental models*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Justi, R. (2006) La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las ciencias*, 24 (2), 173–184.
- Justi, R. y Gilbert, J. K. (2002) Modelling, teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*, 24 (4), 369-387.
- Kanari, Z. y Millar, R. (2004). Reasoning from data: How students collect and interpret data in science investigations. *Journal of Research in Science Teaching*, 41 (7), 748-769.
- Kelly, G. J. (2008). Discourse in science classroom. En S. K. Abell y N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of Research on Science education* (pp. 443- 469). New York: Routledge.
- Kelly, G. J., Druker S. y Chen, C. (1998). Students' reasoning about electricity: combining performance assessment with argumentation analysis. *International Journal of Science Education*, 20 (7), 849-871.
- Kelly, G. J., Regev, J. y Prothero, W. (2007). Analysis of lines of reasoning in written argumentation. En S. Erduran y M. P. Jiménez-Aleixandre (Eds.), *Argumentation in science education: perspectives from classroom-based research* (pp. 137-159) Dordrecht. The Netherlands: Springer.
- Kelly, G. J. y Takao, A. (2002). Epistemic levels in argument: An analysis of university oceanography students' use of evidence in writing. *Science education*, 86 (3), 314-342.

- Koshland Jr, D. E. (1958). Application of a theory of enzyme specificity to protein synthesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 44(2), 98.
- Krajcik, J., Blumenfeld, P. C., Marx, R. W., Bass, K. M., Fredricks, J. y Soloway, E. (1998). Inquiry in project-based science classrooms: Initial attempts by middle school students. *Journal of the Learning Sciences*, 7 (3-4), 313-350.
- Kuhn, D. (1991). *The skills of argument*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Kuhn, D. (1992). Thinking as argument. *Harvard Educational Review*, 62, 155-178.
- Kuhn, D. (1993). Science as argument: Implications for teaching and learning scientific thinking. *Science Education*, 77 (3), 319-337.
- Kuhn, D. (2005). *Education for thinking*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Larkin, J. H. (1983). Some observations on mental models. En D. Gentner y A. L. Stevens (Eds.), *Mental models* (pp. 75-98). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers Inc.
- Latour, B. y Woolgar, S. (1995). *La vida en el laboratorio: la construcción de los hechos científicos*. Madrid: Alianza Editorial.
- Lemke, J. L. (1997). *Aprender a hablar ciencia: lenguaje, aprendizaje y valores*. Barcelona: Paidós.
- Leone, F. A., Baranauskas, J. A. y Ciancaglini, P. (1995). ENZYLOT: A microcomputer assisted program for teaching enzyme kinetics. *Biochemical Education*, 23 (1), 35-37.
- Linenberger, K. J. y Bretz, S. L. (2012). Generating cognitive dissonance in student interviews through multiple representations. *Chemistry Education Research and Practice*, 13 (3), 172-178.
- López, I. S., Balbuena, L. M. y Hernández, A. J. (2015). El tema de la catalasa en los diferentes niveles de enseñanza aprendizaje. En: *Congreso Virtual sobre Tecnología, Educación y Sociedad* 1 (4). México.
- Maia, P. F. y Justi, R. (2009). Learning of chemical equilibrium through modelling-based teaching. *International Journal of Science Education*, 31 (5), 603-630.

- Martínez, P. C. (2006). El método de estudio de caso: estrategia metodológica de la investigación científica. *Pensamiento y gestión: Revista de la división de Ciencias Administrativas de la Universidad del Norte*, (20), 165-193.
- McNeill, K. L. y Krajcik, J. (2007). Middle school students' use of appropriate and inappropriate evidence in writing scientific explanations. En M. Lovett y P. Shah (eds.), *Thinking with data: The proceedings of 33rd Carnegie symposium on cognition* (pp. 233-265). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- McNeill, K. L. y Krajcik, J. (2008). Inquiry and scientific explanations: Helping students use evidence and reasoning. *Science as inquiry in the secondary setting*, 121-134.
- McNeill, K. L. y Krajcik, J. (2012). *Supporting grade 5-8 students in constructing explanations in science: The claim, evidence and reasoning framework for talk and writing*. New York, NY: Pearson Allyn & Bacon.
- McNeill, K. L. y Pimentel, D. S. (2010). Scientific discourse in three urban classrooms: The role of the teacher in engaging high school students in argumentation. *Science Education*, 94 (2), 203-229.
- Megalakaki, O. y Tiberghien, A. (2011). A qualitative approach of modelling activities for the notion of energy. *Electronic Journal of Research in Educational Psychology*, 9 (1), 157-182.
- Mendonça, P. C. C. y Justi, R. (2011). Contributions of the Model of Modelling diagram to the learning of ionic bonding: Analysis of a case study. *Research in Science Education*, 41 (4), 479-503.
- Merino, C. e Izquierdo, M (2011). Aportes a la modelización según el cambio químico. *Educación química*, 22 (3), 212-223.
- Millar, R., Tiberghien, A., y Maréchal, J. F. L. (2003). Varieties of labwork: a way of profiling labwork tasks. En D. Psillos y H. Niedderer (Eds.), *Teaching and learning in the science laboratory*. Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic Publishers, 9-20.
- Ministerio de Educación y Ciencia (MEC). (2006). Ley Orgánica 2/2006 del 3 de mayo de Educación. *Boletín Oficial del Estado de 4 de mayo de 2006*, 106, 17158-17207.

- Ministerio de Educación y Ciencia (MEC). (2007a). Real Decreto 1467/2007 de 2 de noviembre, por el que se establece la estructura del bachillerato y se fijan sus enseñanzas mínimas. *Boletín Oficial del Estado de 6 de noviembre de 2007*, 266-1, 45381-45477.
- Ministerio de Educación y Ciencia (MEC). (2007b). Real Decreto 1631/2006 de 29 de diciembre, por el que se establecen las enseñanzas mínimas correspondientes a la Educación Secundaria Obligatoria. *Boletín Oficial del Estado de 5 de enero de 2007*, 5-1, 677-773.
- Moore, J. A.; Degenhardt, E. F.; Glass, B.; Hallenbeck, L.; Kennedy, M.; Mayer, W. V.; Meyer, T. G.; Olsen, I. D.; Stewart, W. N.; Davis, J. M.; Bucklin, D. H. y Schwartz, G. (1968). *Biología: Unidad, Diversidad y Continuidad de los seres vivos*. BSCS. Hartcourt, Brace and World.
- Moreira, M. A., Greca, I. M. y Rodríguez, M. L. (2002). Modelos mentales y modelos conceptuales en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias (Mental models and conceptual models in the teaching & learning of science). *Revista Brasileira de Investigación em Educação em Ciências*, 2 (3), 84-96.
- Morrison, M. y Morgan, M. S. (1999). Models as mediating instruments. En Morgan, M.S. y Morrison, M. (eds.). *Models as mediators* (pp. 10-37) Cambridge: Cambridge University Press..
- National Research Council (NRC). (1996). *National Science Education Standards*. Washington, DC: National Academy Press.
- Nersessian, N. J. (1999). Model-based reasoning in conceptual change. En L. Magnani, N. J. Nersessian y P. Thagard (Eds.), *Modelos are used to represent reality* (pp. 5-22). Kluwer Academic/Plenum Publishers.
- Nersessian, N. J. (2002). The cognitive basis of model-based reasoning in science. En: P. Carruthers, S. Stich and M. Siegal. *The Cognitive Basis of Science* (pp. 133-153). Cambridge: Cambridge University Press.
- Nersessian, N., y Oliva, J. M. (2007). Reseña de “Razonamiento basado en modelos y cambio conceptual” de Nancy Nersessian. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 4 (3), 563-570.

- Norman, D. A. (1983). Some observations on mental models. En D. Gentner y A. L. Stevens (Eds.), *Mental models*. (pp. 7-14). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers Inc.
- Nuffield Foundation (1974). *Química avanzada Nuffield*. Barcelona: Reverté.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) (2006). *PISA 2006. Marco de la evaluación. Conocimientos y habilidades en Ciencias, Matemáticas y Lectura*. Madrid: Santillana Educación S.L.
- Ogborn, J., Kress, G., Martins, I. y McGillicuddy, K. (1998). *Formas de explicar. La enseñanza de las ciencias en secundaria*. Madrid: Aula XXI-Santillana.
- Oliva, J. M. (2004). El pensamiento analógico desde la investigación educativa y desde la perspectiva del profesor de Ciencias. *Revista electrónica de enseñanza de las ciencias*, 3 (3), 363-384.
- Oliva, J. M. (2011). Cómo usar analogías en la enseñanza de los modelos y de los procesos de modelización en ciencias. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 17 (69), 80-91.
- Oliva, J. M. y Aragón, M. M. (2009). Contribución del aprendizaje con analogías al pensamiento modelizador de los alumnos en ciencias: marco teórico. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 27 (2), 195-208.
- Orgill, M. y Bodner, G. (2007). Locks and Keys. An analysis of biochemistry students' use of analogies. *Biochemistry and molecular biology education*. 35 (4), 244-254.
- Osborne, J., Erduran, S., Simon, S. y Monk, M. (2001). Enhancing the quality of argument in school science. *School Science Review*, 82 (301), 63-70.
- Osborne, J., Erduran, S. y Simon, S. (2004). Enhancing the quality of argumentation in school science. *Journal of research in science teaching*, 41 (10), 994-1020.
- Panadero, J. E.; Fuente, R.; González, R.; Lozano, A., y Ramos, C. B. (2000). *Ciencias de la naturaleza. Biología y Geología*. 3º ESO. Madrid: Editorial Bruño.
- Passmore, C., Stewart, J., y Cartier, J. (2009). Model-Based Inquiry and School Science: Creating Connections. *School Science and Mathematics*, 109 (7), 394-402.

- Pérez Pintos, X. y Sanjuan, A. (1980). *Biología no laboratorio (Prácticas de Biología para EXB, FP, BUP e COU)*. Asociación socio-pedagógica galega. Santiago: Xistral.
- Pérez Serrano, G. (1994). *Investigación cualitativa. Retos, interrogantes y métodos*. Madrid: La Muralla..
- Plowman, L. y Stephen, C. (2008). The big picture? Video and the representation of interaction. *British Educational Research Journal*, 34 (4), 541-565.
- Pozo, J. A., Sanz, A., Gómez Crespo, M. A. y Limón, M. (1991). Las ideas de los alumnos sobre la ciencia: una interpretación desde la psicología cognitiva. *Enseñanza de las Ciencias*, 9 (1), 83-94.
- Pro Bueno de, A. (1998). ¿Se pueden enseñar contenidos procedimentales en las clases de Ciencias? *Enseñanza de las Ciencias*, 16 (1), 21-41.
- Puntambekar, S. y Kolodner, J. L. (2005). Toward implementing distributed scaffolding: Helping students learn science from design. *Journal of Research in Science Teaching*, 42 (2), 185-217.
- Qualter, A., Strang, J., Swatton, P. y Taylor, R. (1990). *Exploration: A way of learning science*. Oxford: Blackwell.
- Real Academia Española (2015). Definición de argumentación. Recuperado el 30 de diciembre de 2015 de: <http://lema.rae.es/drae/?val=argumentación>.
- Reigosa Castro, C. E. y Jiménez Aleixandre, M. P. (2000). La cultura científica en la resolución de problemas en el laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*, 18 (2), 275-284.
- Reiser, B. J., Tabak, I., Sandoval, W. A., Smith, B. K., Steinmuller, F. y Leone, A. J. (2001). BGuILE: Strategic and conceptual scaffolds for scientific inquiry in biology classrooms. En S. M. Carver y D. Klahr (Eds.), *Cognition and instruction: Twenty-five years of Progress* (pp. 263-305). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Revel Chion, A., Adúriz-Bravo, A., Erduran, S., Iglesia, P., Couló, A. y Furman, M. (2005). Estudios sobre la enseñanza de la argumentación científica escolar. *Enseñanza de las ciencias*, N° Extra, 1-5.
- Ríos, S. (1995). *Modelización*. Madrid: Alianza.

- Sampson, V., Grooms, J. y Walker, J. P. (2011). Argument-Driven Inquiry as a way to help students learn how to participate in scientific argumentation and craft written arguments: An exploratory study. *Science Education*, 95 (2), 217-257.
- Sampson, V. y Clark, D. (2009). The impact of collaboration on the outcomes of scientific argumentation. *Science Education*, 93 (3), 448-484.
- Sandoval, W. A. y Millwood, K. A. (2008). What Can Argumentation Tell Us About Epistemology?. En: S. Erduran y M. P. Jiménez-Aleixandre (Eds.), *Argumentation in science education: perspectives from classroom-based research* (pp. 81-98). Dordrecht, the Netherlands: Springer.
- Sardá, A. y Sanmartí, N. (2000). Enseñar a argumentar científicamente: un reto de las clases de ciencias. *Enseñanza de las ciencias*, 18 (3), 405-422.
- Schönborn, K.J. y Anderson, T.R. (2009). A model of factors determining students' ability to interpret external representations in biochemistry. *International Journal of Science Education*, 31 (2), 193-232.
- Schönborn, K. J. y Bögeholz, S. (2009). Knowledge transfer in biology and translation across external representations: expert' views and challenges for learning. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 7, 931-955.
- Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D., Shwartz, Y., Hug, B. y Krajcik, J. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 46 (6), 632-654.
- Schweizer, D. M. y Kelly, G. J. (2005). An investigation of student engagement in a Global Warming debate. *Journal of Geoscience Education*, 53 (1), 75-84.
- Shayer, M. y Adey, P. (1986). *La ciencia de enseñar ciencias (desarrollo cognitivo y exigencias del currículo)*. Madrid: Narcea.
- Shi, J., Wood, W. B., Martin, J. M., Guild, N. A., Vicens, Q. y Knight, J. K. (2010). A diagnostic assessment for introductory molecular and cell biology. *CBE-Life Sciences Education*, 9 (4), 453-461.

- Stake, R. E. (2005). *Investigación con estudio de casos*. Madrid: Morata.
- Stalheim-Smith, A. (1998). Focusing on Active, Meaningful Learning. IDEA Paper No. 34. Manhattan, Kansas State University: The Idea Center.
- Storey, R. D. (1992). Textbook errors & misconceptions in biology: cell physiology. *The American Biology Teacher*, 54 (4), 200-203.
- Sutton, C. (2003). Los profesores de ciencias como profesores de lenguaje. *Enseñanza de las Ciencias*, 21 (1) 21-25.
- Tamir, P. (1977). How are the laboratories used? *Journal of Research in Science Teaching*, 14, 311-316.
- Tamir, P. y García Rovira, M. P. (1992). Características de los ejercicios de prácticas de laboratorio incluidos en los libros de textos de Ciencias utilizados en Cataluña. *Enseñanza de las Ciencias*, 10 (1), 003-12.
- Tenreiro-Vieira, C., y Marques Vieira, R. (2006). Diseño y validación de actividades de laboratorio para promover el pensamiento crítico de los alumnos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 3 (3), 452-466
- Tomasi, J. (1999). Towards 'chemical congruence' of the models in theoretical chemistry. *International Journal for Philosophy of Chemistry*, 5 (2), 79-115.
- Toulmin, S. (1958). *The Uses of Argument*. Cambridge University Press. Cambridge, UK.
- van Eemeren, F. H.; Grootendorst, R.; Jackson, S., y Jacob, S. (2000). Argumentación. En T. A. van Dijk (compilador): *El discurso como estructura y proceso* (pp. 305-334) Barcelona: Gedisa.
- Villani, C. E. P., y do Nascimento, S. S. (2003). A argumentação e o ensino de ciências: uma atividade experimental no laboratorio didático de física do ensino medio. *Investigações em ensino de Ciências*, 8 (3), 187-209.
- Vosniadou, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and instruction*, 4 (1), 45-69.

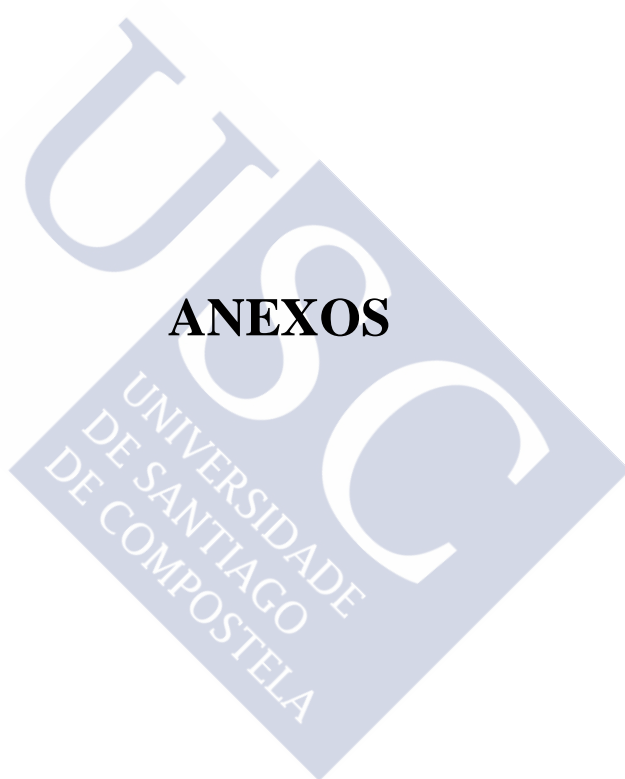
- Walker, R. (1983). La realización de estudios de casos en educación. Ética, teoría y procedimientos. En W. B. Dockrell y D. Hamilton, *Nuevas reflexiones sobre la investigación educativa* (pp. 42-82). Madrid: Narcea.
- Welch, C. A.; Arnon, D. I.; Cochran, H. M.; Erk, F. C.; Fishleder, J.; Mayer, W. V.; Pius, M.; Shaver, J. R., y Smith, F. W. (1972). *Ciencias biológicas. De las moléculas al hombre*. Venezuela: BSCS. Educational Programs Improvement Corporation (EPIC).
- Wells, G. (2006). La unión de las dimensiones sociales, intelectuales y afectivas de la educación para transformar la sociedad. En A. I. Alcalde, M. Buitrago, M. Castanys, M. P. Fálces, R. Flecha, P. González, M. L. Jaussi, M. Odina, S. Ortega, A. I. Palenzuela, Ll. Planes, I. Puigdemívol, M. Ramis, A. Rubio y G. Weels, *Transformando la escuela: comunidades de aprendizaje* (pp. 19-28). Barcelona: Graó.
- Windschitl, M., Thompson, J., y Braaten, M. (2008). Beyond the scientific method: Model-based inquiry as a new paradigm of preference for school science investigations. *Science education*, 92 (5), 941-967.
- Windschitl, M., y Thompson, J. (2006). Transcending simple forms of school science investigation: The impact of preservice instruction on teachers' understandings of model-based inquiry. *American Educational Research Journal*, 43 (4), 783-835.
- Wong, E. D. (1993). Understanding the generative capacity of analogies as a tool for explanation. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(10), 1259-1272.
- Woolnough, B, y Allsop, T. (1985). *Practical work in science*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Xie, Q., y So, W. W. M. (2012). Understanding and Practice of Argumentation: A Pilot Study with Mainland Chinese Pre-Service Teachers in Secondary Science Classrooms. *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching* 13 (2), 1-20.
- Xunta de Galicia (2007). Decreto 133/2007, do 5 de xullo, polo que se regulan as ensinanzas da educación secundaria obrigatoria na Comunidade Autónoma de Galicia. *Diario Oficial de Galicia*, 13 de julio de 2007.
- Yacuzzi, E. (2005) El estudio de caso como metodología de investigación: teoría, mecanismos causales, validación. *Inomics*, 1, 296-306.

- Yin, R. K. (2003). *Case study research. Design and methods* (3ª Edición). California: Sage Publications.
- Zimmerman, C. (2000). The development of scientific reasoning skills. *Developmental Review*, 20 (1), 99-149.
- Zohar, A. y Nemet, F. (2002). Fostering students' knowledge and argumentation skills through dilemmas in human genetics. *Journal of research in science teaching*, 39 (1), 35-62.





ANEXOS





ANEXOS

Anexo I

Actividades

ACTIVIDADE 1: *Acción catalítica dos enzimas*

Material: Tubos de ensaio grandes

Gradiñas de tubos de ensaio

Probetas de 25 ml

Variñas de vidro

Produtos: Solución de peróxido de hidróxeno ao 3%

Area fina de cuarzo

Mostras: Pataca crúa

Fígado fresco

Procedemento:

Toma tres tubos pequenos de ensaio e verte en cada un 2 ml da solución de peróxido de hidróxeno (auga osixenada).

Nun deles engade unha certa cantidade de area, outro un anaco de fígado do tamaño dun gran de arroz e, outro, un anaco equivalente de pataca.

Observacións:

Observa e toma nota da velocidade de reacción en cada tubo de ensaio, para o cal podes utilizar a seguinte escala, que é subxectiva:

0= non hai reacción **1**= lenta **2**= moderada **3**= rápida **4**= moi rápida

--

Comproba que, transcorrido un tempo, detensela reacción.

Cando remates, conserva o contido dos tubos de ensaio por se necesitas usalos despois.

ACTIVIDADE 2: *Por que se detén a reacción coa pataca?*

Discusión:

Discute con teus compañeiros as posibles causas polas que cesou a reacción.

Deseño e realización dun experimento de comprobación:

Realizade un deseño experimental para comprobar se é correcta a vosa hipótese, utilizando o material dispoñible.

Resultados e observacións propios:

ACTIVIDADE 3: *Por que se detén a reacción co fígado?***Discusión:**

Discute con teus compañeiros as posibles causas polas que cesou a reacción.

Deseño e realización dun experimento de comprobación:

Realizade un deseño experimental para comprobar se é correcta a vosa hipótese, utilizando o material dispoñible.

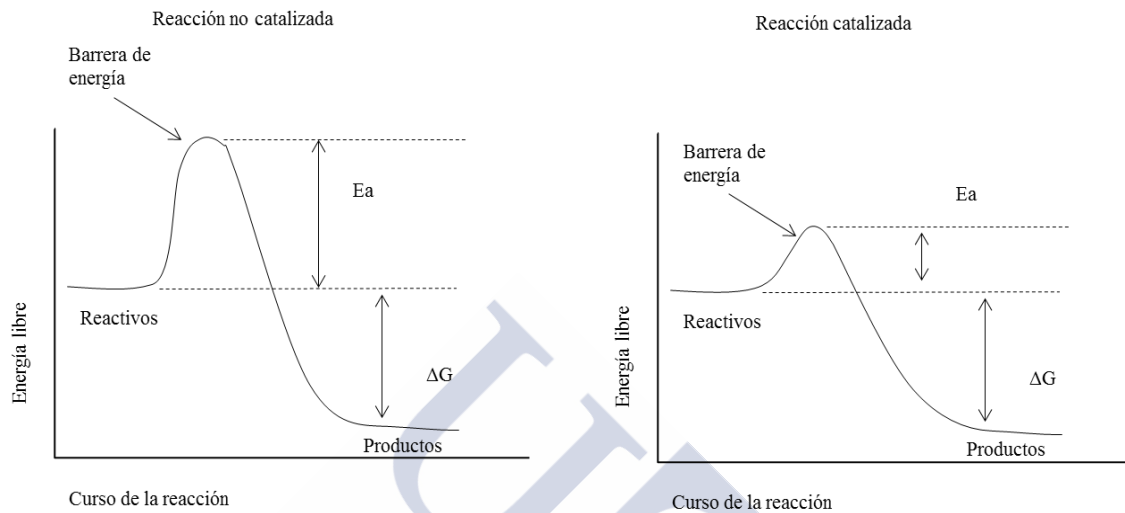
Resultados e observacións propios:



Anexo II

Hoja de ayuda

Características das reaccións catalizadas por enzimas



Os enzimas son catalizadores biolóxicos. Os catalizadores rebaixan a enerxía de activación das reaccións. A rebaixa da enerxía de activación dunha reacción, fai que a velocidade da reacción aumente. Así, os enzimas aceleran as reaccións, rebaixando a enerxía de activación.

Unha reacción catalizada por un enzima pode escribirse como:



E é o enzima, **S** é o sustrato, **ES** é o complexo enzima-sustrato e **P** é o produto. O sustrato únese a un lugar específico na superficie do enzima, coñecido como centro activo. A reacción ocorre sobre a superficie do enzima, despois o produto e o enzima son liberados. Entón o enzima pode unirse a outra molécula de sustrato.

Con baixa concentración de sustrato a velocidade de reacción aumenta repentinamente co aumento da concentración del sustrato porque abunda o enzima libre e dispoñible (**E**) para unirse ao sustrato engadido.



Con alta concentración de sustrato, a velocidade de reacción alcanza unha meseta cando os centros activos do enzima están saturados co sustrato (**complexo ES**), e non queda enzima libre para unirse co sustrato engadido.

Propiedades dos enzimas

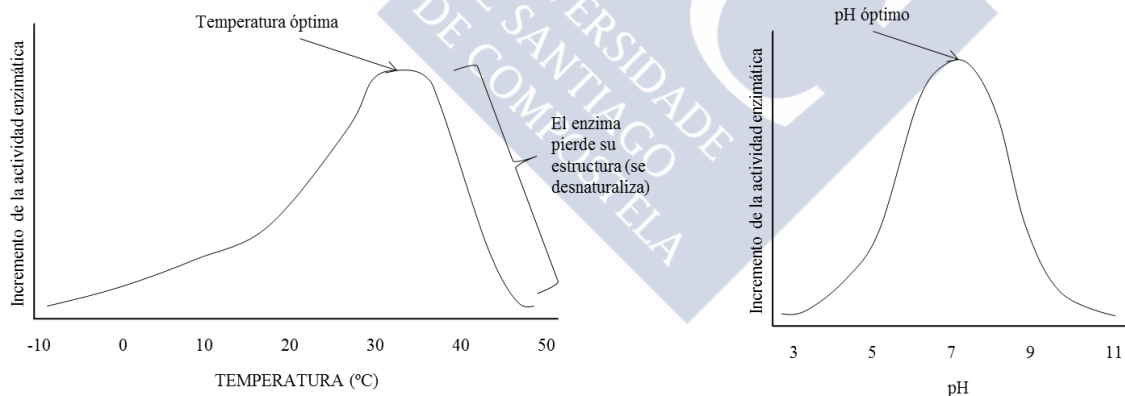
- Son eficientes en cantidades moi pequenas.
- Non son alterados químicamente pola reacción, é dicir, se recuperan por completo ao finalizar esta (co conseguinte aforro de enerxía).
- Non afectan ás concentracións de equilibrio da reacción; só fan que este equilibrio se alcance máis rápidamente.

Factores que afectan aos enzimas

Factores importantes para a función dos enzimas son:

- Temperatura
- pH
- Concentración de sustrato

Os enzimas teñen unha temperatura eun pH óptimos. Se se desnaturalizan (se estropean) non funcionan.



Anexo III

Notación utilizada en las transcripciones de las conversaciones mantenidas por los estudiantes de los equipos que participaron en la intervención

La notación empleada, que es muy similar a la utilizada por Ogborn et. al. (1998), es la siguiente:

1. El punto, el punto y coma, los dos puntos y las mayúsculas a principio de frase se utilizan para representar de forma escrita una conversación.
2. La coma se utiliza para marcar una pausa muy breve, real o interpretada por el oyente, en la conversación.
3. Los signos de interrogación se utilizan cuando se formula una pregunta de forma perceptible por la entonación.
4. Los signos de admiración se utilizan cuando los estudiantes pretenden llamar la atención de forma súbita sobre alguna cuestión, y con imprecaciones o insultos.
5. Una pausa marcada o una indecisión del hablante se indica con [...].
6. Una omisión, ya sea en la grabación o al citar un fragmento, se indica con (...).
7. Se han respetado las incorrecciones gramaticales y la sintaxis del hablante.
8. Se ha optado por no eliminar de la transcripción las expresiones mal sonantes, las palabrotas y los insultos, que se incluyen en tipos tachados con la intención de no herir susceptibilidades.
9. Para indicar actividades comunicativas de naturaleza no lingüística se describe la actividad entre corchetes: [está observando un tubo de ensayo].
10. Para hacer aclaraciones del discurso se indican entre paréntesis: (enzimas).
11. Se identifica a los estudiantes mediante pseudónimo, que respeta el género, y cuya inicial es común a todos los componentes del equipo, correspondiendo alfabéticamente al asignado al equipo. Así, por ejemplo, los componentes del grupo a se llaman Abel, Antón... Los estudiantes de otros equipos que intervienen se identifican como Chica (o.e.) y Chico (o.e.).
12. Cuando no ha sido posible identificar qué estudiante del equipo era el que hablaba, se indica asignándole la identificación de estudiante. Si se trata de varios turnos se indica en casa intervención sucesiva como Estudiante 1, Estudiante 2, Estudiante 3, etc. con independencia de que se pudiese tratar del mismo o diferente estudiante.
13. Se identifica a la profesora por este nombre.